

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“Júlio de Mesquita Filho”  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Campus de Rio Claro

MATHEUS RIZATO

O CULTIVO DA SOJA NO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ: CONTRIBUIÇÃO  
METODOLÓGICA PARA A ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Sergio dos Anjos Ferreira Pinto.

Rio Claro - SP  
2015

621.3678 Rizato, Matheus

R627c O cultivo da soja no oeste do Estado do Paraná:  
contribuição metodológica para a análise espaço-temporal /  
Matheus Rizato. - Rio Claro, 2015

116 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Orientador: Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

1. Sensoriamento remoto. 2. Agricultura. 3. Vegetação  
nativa. 4. Monitoramento agrícola. 5. Estatísticas agrícolas. I.  
Título.

MATHEUS RIZATO

O CULTIVO DA SOJA NO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ: CONTRIBUIÇÃO  
METODOLÓGICA PARA A ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Sergio, dos Anjos Ferreira Pinto (Orientador)

Prof. Dr. Gilberto José Garcia

Prof. Dr. Antônio Marcos Machado de Oliveira

Rio Claro 21 de Dezembro de 2015.

A meus pais, Rubinho e Valci,  
Ofereço.....

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela saúde, paciência e sabedoria para enfrentar mais esta etapa em minha vida.

Ao meu pai Rubinho pela força e compreensão e a minha mãe Valci por toda a paciência, carinho e sabedoria. Obrigado por sempre me apoiarem nesta e em todas as etapas que escolhi em minha vida.

Às minhas irmãs Rubia e Gisele pelo apoio e por toda alegria que puderam me proporcionar através das minhas sobrinhas Lara e Luísa.

Aos amigos que contribuíram para esta pesquisa, em especial a Ana Cecilia Pereira Machado, Camila Zornoff Antunes, Cristiane Dambrós, Luiz Henrique Pereira e todos os membros da comissão de eventos do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Unesp/RC.

Aos meus bons e velhos amigos de minha terra natal pelo apoio e pelos momentos de descontração ao longo dessa vida, principalmente por toda a música que puderam me proporcionar.

Ao meu orientador Prof. Dr. Sergio dos Anjos Ferreira Pinto pela oportunidade e confiança na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Gilberto José Garcia, Prof. Dr. Antônio Marcos Machado de Oliveira e a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Andréia Medinilha Pancher pelas contribuições para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao CNPq, por ter possibilitado e financiado esta pesquisa.

A todos que estiveram envolvidos, direta ou indiretamente, para a realização desta pesquisa deixo o meu: Muito Obrigado!

## RESUMO

A soja tem se destacado como um dos principais cultivos agrícolas produzidos no Brasil e no mundo. O Estado do Paraná é um grande produtor nacional tendo sua área de produção ampliada no decorrer das últimas safras. Contudo, o avanço de diversos cultivos agrícolas no Estado, ocorreu em função do recuo das áreas de vegetação nativa. As técnicas de sensoriamento remoto se destacam como uma importante ferramenta para a estimativa de dados de área semeada e também de cobertura vegetal nativa no tempo e no espaço. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi o de realizar a análise espaço-temporal da ocupação da soja e da subtração da vegetação nativa em municípios selecionados na região Oeste do Paraná em anos selecionados entre 1953 a 2014, por meio das técnicas de sensoriamento remoto. Para a confecção dos mapas temáticos, foram utilizadas imagens dos satélites *Landsat 5*, *7* e *8* além de fotografias aéreas. Para o mapeamento foi analisado o comportamento espectral da soja e da vegetação nativa, posteriormente executados os métodos de interpretação visual para as fotografias aéreas e para as imagens orbitais classificação automática seguida pela interpretação visual. Como resultado foram obtidos mapas das áreas de cobertura vegetal para os cenários selecionados. A verificação da exatidão cartográfica do mapeamento foi realizada pelo método Ginevan, que apresentou a exatidão de 95%. Os dados de área produzida de soja obtidos neste trabalho foram comparados ao levantamento oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), onde na maioria dos períodos foi observada modesta diferença. De todos os dados obtidos, a vegetação nativa em 1953 ocupava mais de 92% da área de estudo enquanto no período de 2013/2014 passou a ter uma área de aproximadamente 19%. Já a soja apresentou no período de 2013/2014 o total de 56,2% da área de estudo. Estes dados sinalizam que a metodologia aplicada neste trabalho permitiu a percepção e a quantificação da intensa diminuição da vegetação nativa em função do avanço da fronteira agrícola e também do atual domínio da soja na região.

**Palavras-Chave:** Sensoriamento Remoto. Soja. Vegetação Nativa. Monitoramento Agrícola. Estatísticas Agrícolas.

## ABSTRACT

Soybeans has been highlighted as one of the main crops grown in Brazil and worldwide. The State of Paraná is a major national producer expanding its production area over the past crops. However, the advancement of different agricultural crops in the State was due to the decline in native vegetation areas. Remote sensing techniques are highlighted as an important tool for the sown area data estimation and also of native vegetation in time and space. In this context, the aim of this study was to perform space-time occupation of soybeans and subtraction of native vegetation analysis in selected counties in Paraná West region in selected years between 1953 and 2014, by means of remote sensing techniques. For the preparation of thematic maps, there were used images from Landsat 5, 7 e 8 satellites as well as aerial photographs. For the mapping conduct was analyzed the spectral behavior of soybeans and native vegetation, then performed visual interpretation methods for aerial photographs and for the satellite images automatic classification followed by visual interpretation. As a result, there were obtained maps of vegetation cover areas for selected scenarios. The verification of cartographic mapping accuracy was performed by Ginevan method, which showed 95% of accuracy. Soybeans produced area data obtained in this study were compared to the official survey of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), which was observed modest difference in most periods. Of all obtained data, the native vegetation in 1953 occupied more than 92% of the study area while in the 2013/2014 period now has approximately 19% of area. Meanwhile in the period of 2013/2014 soybeans introduced a total of 56.2% of the study area. These data indicate that the methodology applied in this study allowed the perception and quantification of intense decline in native vegetation due to the agricultural frontier expansion and also the current domain of the soybean crop in the region.

**Keywords** Remote sensing Soybean Native vegetation Agricultural monitoring  
Agricultural statistics

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág</u>
<b>FIGURA 1</b> - Evolução da Produção de Soja no Brasil da safra de 1976/77 a 2014/2015 (mil. ton.).....	18
<b>FIGURA 2</b> - Distribuição da Produção de Grãos por cultura na safra 2013/2014....	19
<b>FIGURA 3</b> - Principais microrregiões produtoras de soja no Brasil – 2013.....	20
<b>FIGURA 4</b> - Principais Estados Produtores de soja no Brasil de 2005/2006 a 2013/2014 (mil. ton.).....	20
<b>FIGURA 5</b> - Evolução da produção, área e preço da soja no Brasil de 2006 a 2013.....	22
<b>FIGURA 6</b> - Cobertura Florestal 1890/1980 – Estado do Paraná.....	25
<b>FIGURA 7</b> - Esquema de reflectância típica da vegetação.....	35
<b>FIGURA 8</b> - Localização geográfica da área de estudo no Paraná.....	43
<b>FIGURA 9</b> - Mapa Geomorfológico do Estado do Paraná.....	45
<b>FIGURA 10</b> - Mapa Simplificado de solos do Estado do Paraná.....	47
<b>FIGURA 11</b> - Mapa Climatológico do Estado do Paraná.....	49
<b>FIGURA 12</b> - Média Anual Pluviométrica da Estação Meteorológica do município de Campo Mourão no Oeste do Paraná.....	50
<b>FIGURA 13</b> - Mapa Fitogeográfico do Estado do Paraná.....	52
<b>FIGURA 14</b> - Mosaico de Fotografias Aéreas do Ano de 1953.....	56
<b>FIGURA 15</b> - Fluxograma indicando as fases do Trabalho.....	60
<b>FIGURA 16</b> - Mapeamento da vegetação nativa do ano de 1953.....	69
<b>FIGURA 17</b> - Mosaico de Imagens <i>Landsat</i> 8 de Dezembro de 2013, na composição RGB-564 (falsa-cor).....	72
<b>FIGURA 18</b> - Características da resposta espectral da soja em Imagens <i>Landsat</i> 5 do período de Novembro de 2010 a Abril de 2011 na composição RGB-453 (falsa-cor).....	74
<b>FIGURA 19</b> - Características da resposta espectral da vegetação nativa em Imagens <i>Landsat</i> 5 do período de Novembro de 2010 a Abril de 2011 na composição RGB-453 (falsa-cor).....	75
<b>FIGURA 20</b> - Classe temática Não Soja (azul) e Não Vegetação Nativa (verde), sobreposta à imagem <i>Landsat</i> 5. Composição colorida RGB-453 (falsa-cor) e os erros da classificação por inclusão.....	77
<b>FIGURA 21</b> - Classe temática Soja (amarelo) e Vegetação Nativa (verde), sobreposta à imagem <i>Landsat</i> 5. Composição colorida RGB-453 (falsa-cor) e os erros da classificação por omissão.....	77



<b>FIGURA 22</b> - Comportamento espectral do milho na imagem do <i>Landsat 5</i> na composição RGB-453 de 25 de Dezembro de 2004 (esquerda) e 26 de Janeiro de 2005 (direita).....	78
<b>FIGURA 23</b> - Comportamento espectral da vegetação nativa na imagem do <i>Landsat 5</i> na composição RGB-453, de 20 de Fevereiro de 1985 (esquerda) e 14 de Julho de 1985 (direita).....	79
<b>FIGURA 24</b> - Mapeamento da soja e da vegetação nativa do período de 1984/1985.....	82
<b>FIGURA 25</b> - Distribuição da área total de soja e vegetação em hectares no mapeamento do período de 1984/1985.....	84
<b>FIGURA 26</b> - Mapeamento da soja e da vegetação nativa do período de 1993/1994.....	86
<b>FIGURA 27</b> - Distribuição da área total de soja e vegetação em hectares no mapeamento do período de 1993/1994.....	88
<b>FIGURA 28</b> - Mapeamento da soja e da vegetação nativa do período de 2004/2005.....	90
<b>FIGURA 29</b> - Distribuição da área total de soja e vegetação em hectares no mapeamento do período de 2004/2005.....	92
<b>FIGURA 30</b> - Mapeamento da soja e da vegetação nativa do período de 2010/2011.....	93
<b>FIGURA 31</b> - Distribuição da área total de soja e vegetação em hectares no mapeamento do período de 2010/2011.....	95
<b>FIGURA 32</b> - Mapeamento da soja e da vegetação nativa do período de 2013/2014.....	97
<b>FIGURA 33</b> - Distribuição da área total de soja e vegetação em hectares no mapeamento do período de 2013/2014.....	95
<b>FIGURA 34</b> - Evolução da área semeada de soja mapeada e área estimada pelo IBGE em hectares nos períodos selecionados.....	103
<b>FIGURA 35</b> - Evolução da área de vegetação nativa em hectares nos períodos selecionados.....	104
<b>FIGURA 36</b> - Mosaico dos mapas de soja e vegetação nativa nos períodos selecionados.....	106

## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág</u>
<b>TABELA 1</b> - Principais países produtores de soja entre as safras 2009/10 a 2013/14 (mil. ton.).....	17
<b>TABELA 2</b> - Evolução da produção brasileira de soja por estados de 2006/07 a 2013/14 regiões (mil. ton.).....	21
<b>TABELA 3</b> - Área, produção e rendimento de soja nos municípios selecionados e no Estado do Paraná em 2013.....	44
<b>TABELA 4</b> - Tabela de Ginevan para $Q2 = 0,85$ ; $\beta = 0,05$ . Fornece os valores ótimos de N e de X.....	65
<b>TABELA 5</b> - Área total em hectares de vegetação nativa do mapeamento no período de 1953.....	70
<b>TABELA 6</b> - Relação de valores de área e similaridade no processo de segmentação para o mapeamento da soja e da vegetação nativa.....	76
<b>TABELA 7</b> - Área total em hectares de soja e vegetação nativa mapeada em comparação a área do IBGE no período de 1984/1985.....	83
<b>TABELA 8</b> - Área total em hectares de soja e vegetação nativa mapeada em comparação a área do IBGE no período de 1993/1994.....	87
<b>TABELA 9</b> - Área total em hectares de soja e vegetação nativa mapeada em comparação a área do IBGE no período de 2004/2005.....	91
<b>TABELA 10</b> - Área total em hectares de soja e vegetação nativa mapeada em comparação a área do IBGE no período de 2010/2011.....	94
<b>TABELA 11</b> - Área Total em hectares de soja e vegetação nativa mapeada em comparação a área do IBGE no período de 2013/2014.....	98
<b>TABELA 12</b> - Relação de pontos classificados para o mapeamento do período de 2013/2014.....	100

## LISTA DE QUADROS

	<u>Pág.</u>
<b>QUADRO 1</b> - Características dos satélites <i>Landsat</i> 5, 7 e 8.....	32
<b>QUADRO 2</b> - Localização geográfica, extensão territorial e número de habitantes dos municípios selecionados.....	42
<b>QUADRO 3</b> – Imagens <i>Landsat</i> no mapeamento da Vegetação Nativa .....	58

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	
<b>LISTA DE TABELAS</b>	
<b>LISTA DE QUADROS</b>	
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	13
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	17
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	17
2.1. Panorama mundial e nacional da soja.....	17
2.2. Breve histórico do uso e ocupação do solo no Estado do Paraná.....	23
2.3. Condições ambientais para a produção da soja.....	25
2.4. Geotecnologias e suas aplicações.....	26
2.4.1. Fotografias aéreas.....	30
2.4.2. Sistemas Sensores (Programa <i>Landsat</i> ) .....	31
2.4.3. Breve conceito sobre bandas espectrais em sistemas sensores.....	33
2.4.4. Comportamento espectral e temporal da cobertura vegetal.....	34
2.4.5. Processamento Digital de Imagens (PDI) .....	36
2.4.5.1. Pré-Processamento.....	36
2.4.5.2. Segmentação.....	38
2.4.5.3. Classificação de imagens.....	38
2.5. Validação da exatidão do mapeamento.....	41
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	42
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	42
3.1. Aspectos gerais.....	42
3.2 Características geológicas, geomorfológicas e pedológicas.....	44
3.3. Aspectos climáticos.....	48
3.4. Cobertura vegetal e uso da terra.....	51

<b>CAPÍTULO 4</b> .....	54
<b>4. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	54
4.1. Materiais e equipamentos.....	54
4.1.1 Ferramentas computacionais.....	54
4.1.2. Base cartográfica.....	54
4.1.3. Dados de sensoriamento remoto.....	55
4.1.3.1. Fotografias Aéreas.....	55
4.1.3.2. Imagens orbitais: <i>Landsat</i> .....	57
4.1.4. Dados estatísticos.....	59
4.2. Procedimentos metodológicos .....	59
4.2.1. Banco de Dados.....	61
4.2.2. Mapeamento da cobertura vegetal nativa.....	61
4.2.3. Mapeamento da soja.....	62
4.2.4. Verificação da exatidão cartográfica do mapeamento.....	64
4.2.5. Quantificação das áreas mapeadas.....	66
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	68
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	68
5.1. Mapa da vegetação nativa por meio das fotografias aéreas.....	68
5.1.1. Cenário 1953.....	68
5.2. Mapa de cobertura vegetal por meio das Imagens <i>Landsat</i> .....	70
5.2.1. Cenário 1984/1985.....	80
5.2.2. Cenário 1993/1994.....	85
5.2.3. Cenário 2004/2005.....	88
5.2.4. Cenário 2010/2011.....	92
5.2.5. Cenário 2013/2014.....	95
5.3. Validação do mapa do cenário 2013/2014.....	99
5.4. Comparativo de área de soja e cobertura vegetal nativa para os cenários analisados.....	103
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	107
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	107

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>109</b>
<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....</b>	<b>115</b>

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da fronteira agrícola ao longo dos últimos anos, a paisagem do Estado do Paraná foi significativamente modificada. Historicamente, o início da exploração econômica do Estado ocorreu a partir do século XIX, impulsionado pela pressão demográfica e pelo início da exploração madeireira. É a partir da década de 1930 que a agricultura começa a expandir no Estado do Paraná se firmando como uma das principais atividades econômicas. Segundo Maack (1981), em 1935 a agricultura inicia seu ciclo na região com o cultivo do café, sendo esta a principal cultura produzida em seu território.

Na região Oeste do Paraná, área de estudo deste trabalho, a intensificação da agricultura ocorreu a partir da década de 1960 e a expansão de sua fronteira agrícola foi a principal responsável pelo desmatamento desse Estado. Este incremento de área nos últimos anos permitiu que ocorresse uma intensificação no ritmo do desmatamento de florestas nativas no Estado.

Um dos maiores responsáveis pelo avanço da agricultura no Paraná foi a produção de grãos, que tem aumentado não só nesse Estado, mas em todo o país devido a sua alta demanda internacional e também por ter se tornado um dos principais alimentos consumidos no mundo.

Dentro da produção de grãos no país, o que mais se destaca é a soja, sendo a que apresenta uma maior produção e área semeada. Atualmente, a soja tem se apresentado como um tipo de atividade agrícola bastante rentável para o produtor brasileiro e sua produção está distribuída em praticamente todas as regiões do país, demonstrando crescimento nos últimos anos.

A região Sul do Brasil é historicamente tradicional no cultivo de soja, sendo pioneira na semeadura e se apresentando atualmente como uma das maiores regiões produtoras do país. O Estado do Paraná se desponta como um dos principais produtores da oleaginosa, sendo também um grande exportador deste produto.

Nesse cenário, o expressivo avanço da produção da oleaginosa e a sua forte demanda internacional, fez com que a procura por informações referentes a área semeada e ao comportamento produtivo da soja aumentasse tanto por parte do governo quanto por parte dos produtores. Para estes agentes, estas informações

são relevantes no sentido de auxiliar na criação de políticas públicas referente a incentivos para a produção por parte do governo, e para as decisões estratégicas quanto ao plantio e a comercialização da soja por parte dos produtores. Além disso, torna-se importante a quantificação das áreas cultivadas bem como o monitoramento de sua expansão considerando a preservação da vegetação de biomas nativos.

Deve-se destacar que a soja é uma *commodite* agrícola e sua comercialização está extremamente atrelada à especulação ocorrida no mercado futuro internacional. Por isso, qualquer alteração na relação de oferta e demanda da oleaginosa pode acarretar em oscilação de preços. Este fato também comprova que o monitoramento, principalmente de incremento de área podem auxiliar os agentes deste mercado a tomar decisões quanto à comercialização deste produto.

Com esta demanda, a metodologia dos atuais dados oficiais que sinalizam a evolução de área semeada no Brasil pode não conter toda realidade encontrada no campo. Segundo Rizzi (2004), as previsões nacionais de área cultivada no Brasil são realizadas utilizando dados pontuais através de um levantamento subjetivo, baseado em opiniões de agentes técnicos e econômicos relacionados ao setor.

Neste escopo, o uso de tecnologias e produtos de sensoriamento remoto através das imagens orbitais e fotografias aéreas constituem importantes ferramentas para a caracterização, mapeamento e monitoramento da terra e da vegetação nativa, permitindo a percepção das mudanças ocorridas em uma determinada área de interesse. De forma geral, as geotecnologias podem contribuir para a identificação e mapeamento da variabilidade de usos da terra e cobertura vegetal, bem como a dinâmica das alterações ao longo do tempo. Isto posto é possível realizar uma série de estudos para análise, tanto econômica como ambiental, da expansão espacial da soja pelo território brasileiro.

Dentre a diversidade das possibilidades do emprego das geotecnologias para a análise do uso e ocupação da terra, os estudos voltados ao monitoramento de vegetação nativa e de cultivos agrícolas tem se intensificado e apresentado resultados satisfatórios.

Para Gallego (2004), as imagens obtidas e analisadas por meio de técnicas de sensoriamento remoto podem ser usadas para o estudo da superfície terrestre, sendo possível a identificação, classificação, delineamento e estimativa das áreas ocupadas para uso e ocupação do solo através da interpretação das imagens. Além



disso, elas podem auxiliar o levantamento das amostras de várias maneiras, incluindo: definição de suas unidades, sua estratificação, documentação gráfica para o levantamento e o controle de qualidade da coleta de dados em campo.

No geral, os dados obtidos através das geotecnologias permitem uma análise mais apurada da subtração vegetal de uma área, além da expansão de uma cultura agrícola, neste caso, a soja.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo empregar uma metodologia a fim de permitir a análise espaço-temporal da ocupação agrícola das terras, com ênfase ao cultivo da soja, em área selecionada da região Oeste do Estado do Paraná. No geral, este trabalho busca monitorar a evolução de uso e ocupação do solo da área de estudo no tempo-espaço para os cenários de 1953, 1985, 1994, 2005, 2011 e 2014. Assim, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- (i) Indicar as taxas de incremento do plantio de soja utilizando as geotecnologias no período especificado;
- (ii) Identificar a subtração da cobertura vegetal florestal nativa na área de estudo utilizando as geotecnologias no período especificado;
- (iii) Com bases nas técnicas de sensoriamento remoto, observar o comportamento espectral das áreas plantadas com soja e vegetação nativa.

Esta dissertação foi organizada em seis capítulos. O primeiro permite que seja realizada uma análise geral do tema, justificando a relevância desta pesquisa e apresentando os objetivos da mesma.

O segundo capítulo relaciona-se a fundamentação teórica do assunto proposto. Esta etapa consiste em uma breve contextualização da cultura da soja no Brasil e também das formas de geotecnologias utilizadas na execução deste trabalho. Neste capítulo foram abordados os conceitos de sistemas sensores, processamento digitais de imagens e análise do comportamento espectral das coberturas vegetais. No terceiro capítulo se pode observar as características gerais da área de estudo selecionada para a realização deste trabalho. Estas informações abarcam características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, climáticas e de

cobertura vegetal da área.

O quarto capítulo apresenta a descrição dos procedimentos metodológicos assim como os materiais utilizados na execução deste trabalho. Nesta parte da dissertação observa-se todas as etapas metodológicas quanto as formas de processamento digital das imagens utilizadas e todas as técnicas cartográficas utilizadas para o mapeamento da soja e da vegetação nativa.

No quinto capítulo, consta os resultados e discussão obtidos nesta pesquisa. No sexto capítulo, considerações finais e as referências bibliográficas que contribuíram na elaboração deste trabalho.

As bases que fundamentam este trabalho estão atreladas a criação de uma metodologia que contribua para identificação de áreas ocupadas por cobertura vegetal, neste caso, as áreas ocupadas pelas lavouras de soja e vegetação nativa. Para isso, fundamentou-se nas geotecnologias com as técnicas de sensoriamento remoto pela interpretação de imagens orbitais e fotografias aéreas.

## CAPÍTULO 2

### 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1. Panorama mundial e nacional da soja

A soja é uma das principais oleaginosas e mais antigas culturas semeadas no mundo. Segundo dados do USDA em 2014, grande parte da produção mundial de soja ficou concentrada em apenas três países, Estados Unidos, Brasil e Argentina, que juntos representam mais de 80% da produção mundial na safra 2013/2014. Ainda segundo o USDA, na mesma temporada, os Estados Unidos, produziu o total de 91,39 milhões de toneladas, seguidos pelo Brasil com 86,7 milhões de toneladas e a Argentina com 53,5 milhões de toneladas. A produção de soja por países pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais países produtores de soja entre as safras 2009/10 a 2013/14 (mil. ton.).

<b>Países</b>	<b>2009/10</b>	<b>2010/11</b>	<b>2011/12</b>	<b>2012/13</b>	<b>2013/14</b>
EUA	91,42	90,61	84,19	82,56	91,39
Brasil	69	75,3	66,5	82	86,70
Argentina	54,5	49	40,1	49,3	53,5
China	14,98	15,1	14,98	12,8	12,2
Índia	9,7	9,8	11	11,5	11,8
Paraguai	6,46	7,13	4,04	9,37	9
Canadá	3,58	4,45	4,3	4,93	4,8
Outros	10,77	12,54	14,54	15,42	15,58
<b>Total</b>	<b>260,4</b>	<b>263,92</b>	<b>239,15</b>	<b>267,88</b>	<b>283,54</b>

Fonte: USDA, 2014.

Costa (1996) afirma que a soja chegou ao Brasil via Estados Unidos, em 1882. Gustavo Dutra, então professor da Escola de Agronomia da Bahia, realizou os primeiros estudos de avaliação de cultivares introduzida daquele país.

Segundo a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2003), o primeiro registro de cultivo de soja no Brasil, data de 1914, no Rio Grande do Sul. Somente após 30 anos ela adquiriu importância econômica, o primeiro registro estatístico aconteceu em 1941, no Anuário Agrícola do Rio Grande do Sul: área cultivada de 640 hectares, produção de 450 toneladas e rendimento de 700 Kg/ha.

Ainda neste ano, se registra a primeira indústria processadora de soja em Santa Rosa, no Estado Rio Grande do Sul e, em 1949, com produção de 25.000 toneladas, o Brasil figurou pela primeira vez como produtor de soja nas estatísticas internacionais.

Na década de 1960 a soja apresentou intenso avanço no país. Isso se deve às condições tecnológicas oriundas do cultivo do trigo, do aproveitamento a ociosidade das áreas produtivas no período de estação quente, e à boa adaptação dos cultivares originários do Sul dos Estados Unidos (COSTA, 1996; EMBRAPA, 1981). No início dos anos 1970, o Paraná tornou-se grande produtor de soja e a partir de então ocorreu a expansão para a região Centro-Oeste do país, caracterizada pela adaptação da oleaginosa as condições naturais daquela região.

Atualmente, a produção de soja no Brasil alcançou grande destaque no cenário agrícola mundial se tornando uma das principais culturas do país. O Brasil é o segundo maior produtor de soja no mundo, com o total de 86,7 milhões de toneladas na safra 2013/2014 segundo dados da CONAB, logo atrás dos Estados Unidos com o total de 91,39 milhões de toneladas no mesmo período.

Na figura 1 consta a evolução histórica da produção de soja no Brasil da safra de 1976/77 a 2014/2015.

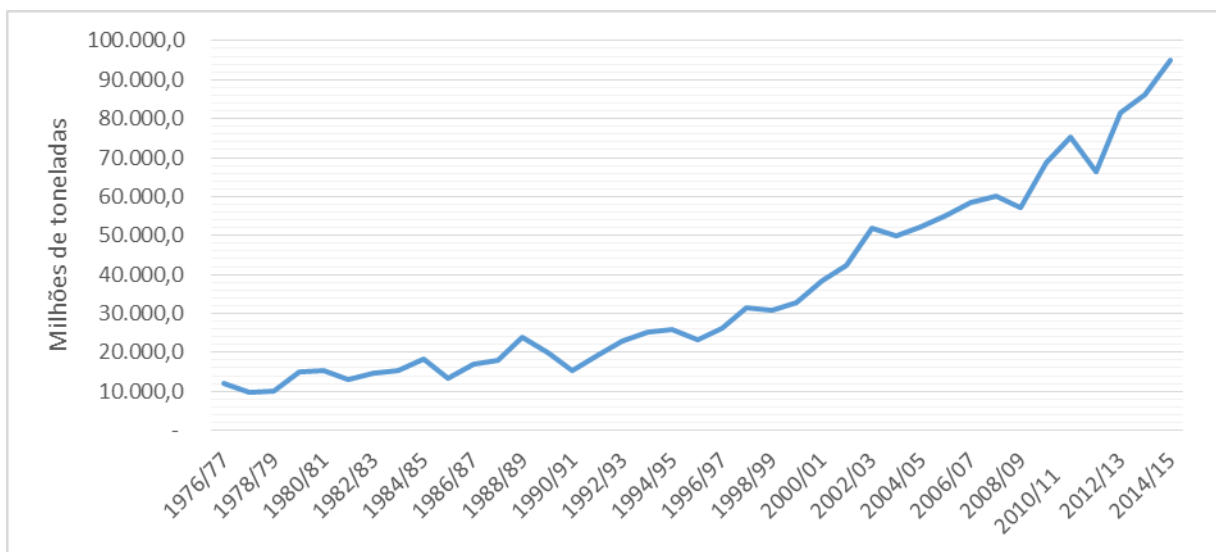


Figura 1 - Evolução da Produção de Soja no Brasil da safra de 1976/77 a 2014/2015 (mil. ton.).  
Fonte: CONAB, 2014.

No contexto geral, a soja é atualmente a principal *commoditie*, responsável por um quarto da produção mundial de óleos vegetais. A sua importância está atrelada à produção de óleo e farelo, derivados oriundos do seu processamento. A

produção do óleo é destinada ao consumo humano e a produção de biocombustíveis. Já o farelo destina-se, principalmente, a produção de ração animal. Devido a sua versatilidade, a soja tem grande representatividade na comercialização agrícola. No Brasil, a oleaginosa representa 47,01% da produção total de grãos, como pode ser observado na Figura 2.

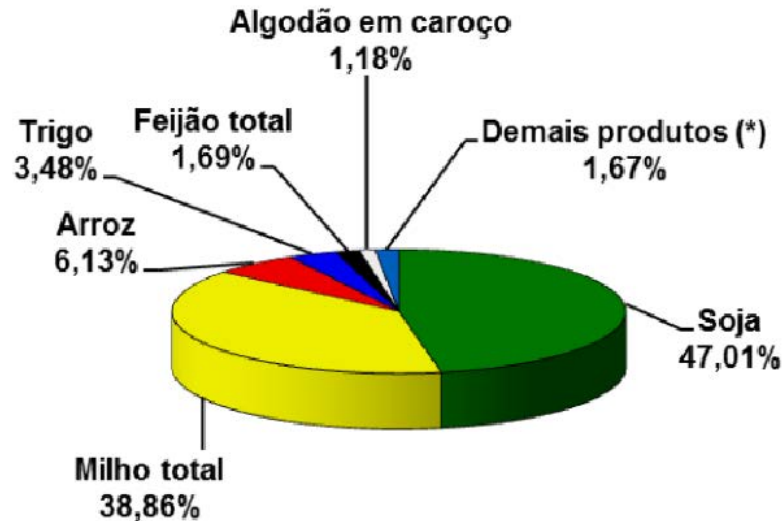


Figura 2 – Distribuição da Produção de Grãos por Cultura na safra 2013/2014.  
Fonte: CONAB, 2014.

De forma geral, todas as regiões do país apresentaram crescimento de produção no decorrer das últimas safras, devido a crescente atratividade da cultura ante as demais, permitindo o avanço da área semeada e também do incremento tecnológico que permitiu a maior produtividade da cultura no país. A Figura 3 ilustra a distribuição geográfica da produção de soja por microrregiões de acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

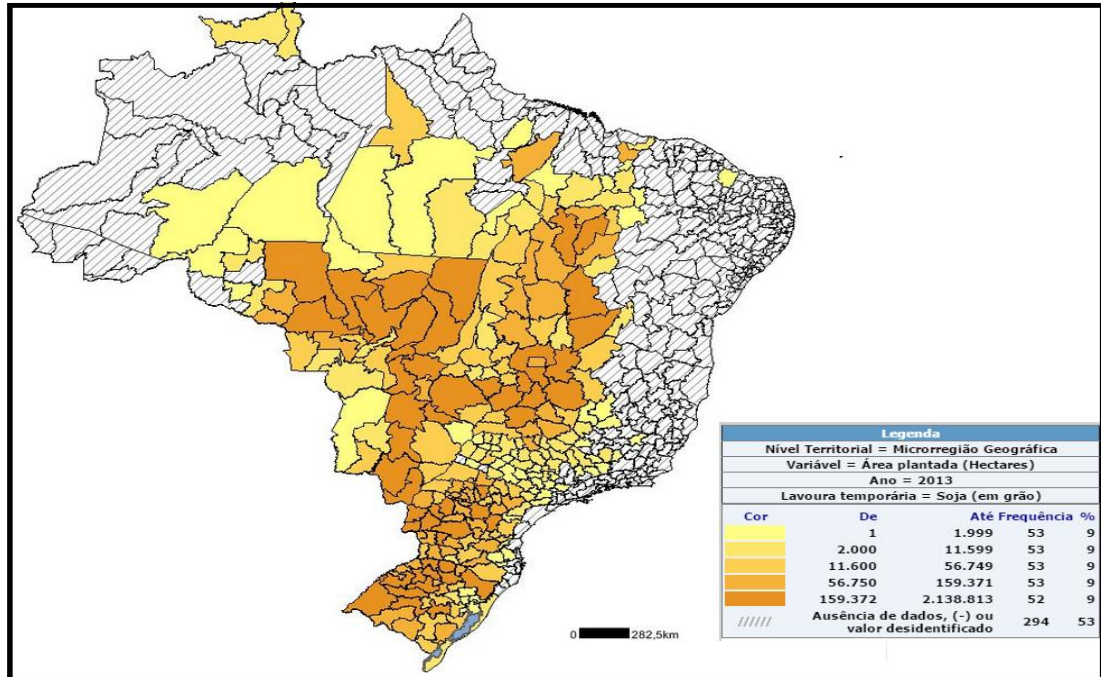


Figura 3 - Principais microrregiões produtoras de soja no Brasil – 2013.  
Fonte: IBGE, 2014

Segundo a CONAB (2014), o maior estado produtor ao longo das últimas dez safras é o Mato Grosso, e representa um pouco mais de 30% da produção nacional em 2013/2014. Posteriormente, o Paraná, com o total de 18%; seguido pelo Rio Grande do Sul, com 14% no mesmo período.

Atualmente, no Brasil, a soja é produzida praticamente em todas as regiões, com destaque para a região Centro-Oeste e Sul. Na Figura 4 é observada a evolução da produção da soja da safra 2005/2006 a 2013/2014 nos principais Estados produtores, enquanto a Tabela 2 indica a produção brasileira de soja por estados e regiões.

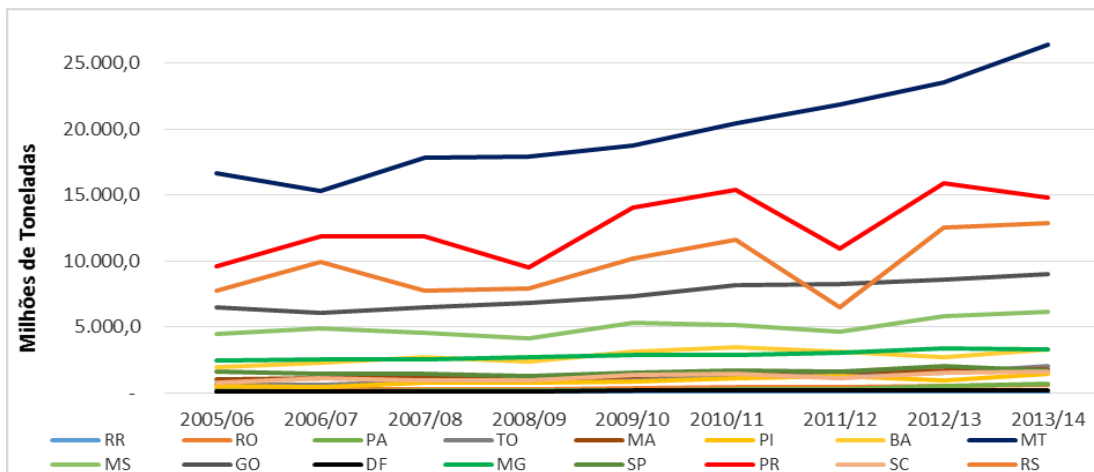


Figura 4 – Principais Estados Produtores de soja no Brasil de 2005/2006 a 2013/2014 (mil. ton.)  
Fonte: CONAB, 2015.

Tabela 2 - Evolução da produção brasileira de soja por Estados de 2006/07 a 2013/14 regiões (mil. ton.)

REGIÃO/UF	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14
<b>NORTE</b>	<b>1.079,9</b>	<b>1.472,4</b>	<b>1.414,0</b>	<b>1.691,7</b>	<b>1.977,2</b>	<b>2.172,2</b>	<b>2.661,5</b>	<b>3.391,3</b>
RR	15,4	48,8	22,4	3,9	10,4	10,4	33,6	56,2
RO	277,5	311,6	326,5	384,3	425,3	462,2	539,3	607,7
PA	140,5	201,1	208,7	232,5	314,4	316,7	552,2	668,6
TO	646,5	910,9	856,4	1.071,0	1.227,1	1.382,9	1.536,4	2.058,8
<b>NORDESTE</b>	<b>3.867,2</b>	<b>4.829,8</b>	<b>4.161,9</b>	<b>5.309,5</b>	<b>6.251,5</b>	<b>6.096,3</b>	<b>5.294,8</b>	<b>6.620,9</b>
MA	1.084,0	1.262,8	975,1	1.330,6	1.599,7	1.650,6	1.685,9	1.823,7
PI	486,0	819,4	768,8	868,4	1.144,3	1.263,1	916,9	1.489,2
BA	2.297,2	2.747,6	2.418,0	3.110,5	3.507,5	3.182,6	2.692,0	3.308,0
<b>CENTRO-OESTE</b>	<b>26.494,8</b>	<b>29.114,0</b>	<b>29.134,9</b>	<b>31.586,7</b>	<b>33.938,9</b>	<b>34.904,8</b>	<b>38.091,4</b>	<b>41.800,5</b>
MT	15.359,0	17.847,9	17.962,50	18.766,90	20.412,20	21.849,00	23.532,80	26.441,60
MS	4.881,3	4.569,2	4.179,7	5.307,8	5.169,4	4.628,3	5.809,0	6.148,0
GO	6.114,0	6.543,5	6.836,2	7.342,6	8.181,6	8.251,5	8.562,9	8.994,9
DF	140,5	153,4	156,50	169,40	175,70	176,00	186,70	216,00
<b>SUDESTE</b>	<b>4.005,4</b>	<b>3.983,4</b>	<b>4.057,6</b>	<b>4.457,6</b>	<b>4.622,1</b>	<b>4.656,3</b>	<b>5.425,9</b>	<b>5.015,3</b>
MG	2.567,9	2.536,9	2.751,1	2.871,5	2.913,6	3.058,7	3.374,8	3.327,0
SP	1.437,5	1.446,5	1.306,5	1.586,1	1.708,5	1.597,6	2.051,1	1.688,3
<b>SUL</b>	<b>22.944,5</b>	<b>20.618,1</b>	<b>18.397,1</b>	<b>25.642,7</b>	<b>28.534,6</b>	<b>18.553,4</b>	<b>30.025,8</b>	<b>29.292,8</b>
PR	11.915,6	11.896,1	9.509,7	14.078,7	15.424,1	10.941,9	15.912,4	14.780,7
SC	1.104,3	946,6	974,8	1.345,2	1.489,2	1.084,9	1.578,5	1.644,4
RS	9.924,6	7.775,4	7.912,6	10.218,8	11.621,3	6.526,6	12.534,9	12.867,7
<b>NORTE/NORD.</b>	<b>4.947,1</b>	<b>6.302,2</b>	<b>5.575,9</b>	<b>7.001,2</b>	<b>8.228,7</b>	<b>8.268,5</b>	<b>7.956,3</b>	<b>10.012,2</b>
<b>CENTRO-SUL</b>	<b>53.444,7</b>	<b>53.715,5</b>	<b>51.589,6</b>	<b>61.687,0</b>	<b>67.095,6</b>	<b>58.114,5</b>	<b>73.543,1</b>	<b>76.108,6</b>
<b>BRASIL</b>	<b>58.391,8</b>	<b>60.017,7</b>	<b>57.165,5</b>	<b>68.688,2</b>	<b>75.324,3</b>	<b>66.383,0</b>	<b>81.499,4</b>	<b>86.720,8</b>

Fonte: CONAB, 2015.

A expansão da produção de soja no território brasileiro, impulsionada pela sua forte demanda, sobretudo internacional, trouxe grande dinamicidade para a comercialização da cultura e também para a formação de seu preço. Com isso, qualquer alteração nas relações de oferta e demanda ou até a especulação dessas alterações, podem acarretar em oscilações de preços. Por este motivo, o total acompanhamento da evolução das lavouras torna-se fundamental no que se refere ao entendimento de seu comportamento econômico.

No caso da soja, os preços são comercializados no mercado futuro, isto é, nas bolsas de *Chicago - Born of Trade* (CBOT) - nos Estados Unidos e na Bolsa de Mercados Futuros da Bovespa (BMF/Bovespa) no Brasil, além de outras bolsas de mercado futuro nos demais países. Este fato torna as informações referentes ao acompanhamento agrícola da safra ainda mais relevante. Qualquer informação quanto ao aumento ou diminuição de área ou até a quebra de produtividade podem modificar a dinâmica econômica da oleaginosa. Assim, a disponibilidade dessas

informações pelos agentes de mercado passa a ser de grande valia, para que os mesmos possam se proteger dessa variação de preços.

Na Figura 5 ilustra-se a evolução da produção, a área e o preço internacional de exportação da soja no Brasil de 2006 a 2013. Os dados de preço foram coletados pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) pertencente à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP), os dados de produção e produtividade pela CONAB enquanto os dados de produtividade foram disponibilizados pelo IBGE.

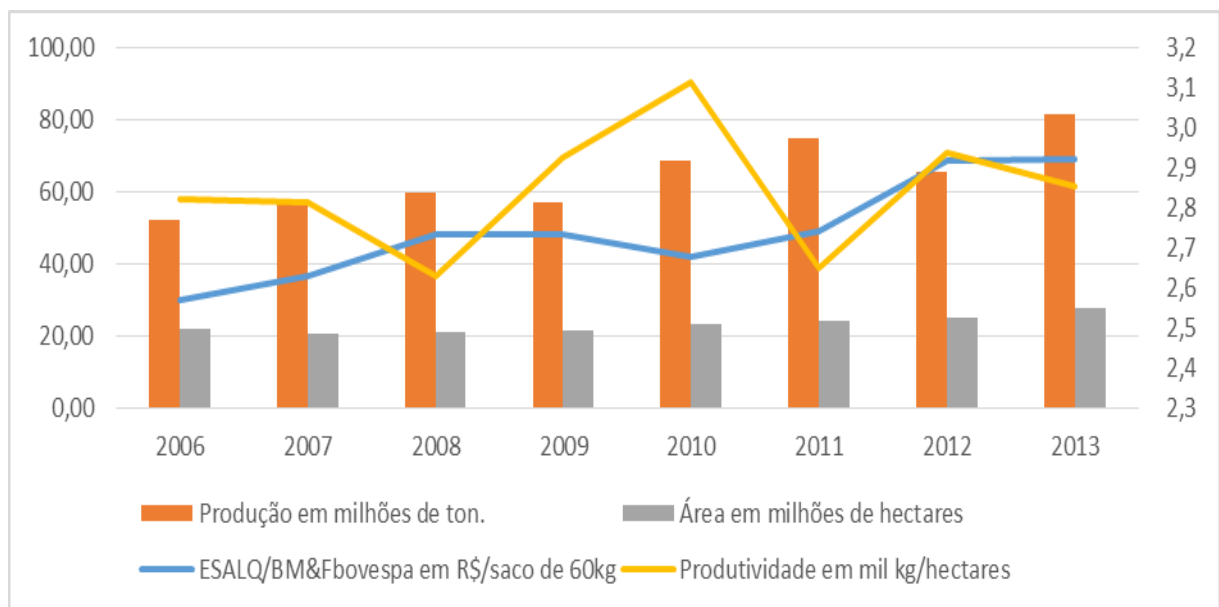


Figura 5 – Evolução da produção, área e preço da soja no Brasil de 2006 a 2013.  
Adaptado de IBGE, CONAB e CEPEA, 2015.

Os dados apontam que ao longo do período analisado houve um incremento da produção, produtividade e dos preços enquanto a área apresentou pouca variação. Este cenário sinaliza que ocorreu uma forte demanda, sobretudo internacional, pela oleaginosa que fez com que os preços e a produção aumentassem. Além disso, houve o aumento da tecnologia de produção que fez com que o rendimento apresentasse elevação principalmente no período de 2008 a 2010. Este segundo fato contribuiu para que a cultura se tornasse mais atrativa para o produtor nos últimos anos.



## 2.2. Breve histórico do uso e ocupação do solo no Estado do Paraná

A partir do século XX, a população do Estado do Paraná sempre esteve concentrada na parte Leste tendo como principal atividade agrícola a produção de ervas. A prosperidade desta cultura fez com que a agricultura se diversificasse e expandisse a suas fronteiras. Na década de 1930, a fertilidade do solo e a atratividade econômica da cultura, torna o café a principal atividade econômica do Paraná tomando praticamente todas as localidades do Estado, sobretudo a região Norte e Oeste.

Segundo Rodrigues (1994), a expansão cafeeira no Norte, a partir da década de 1930, foi o marco inicial à ocupação de outras regiões do Paraná, como o Oeste e Sudoeste, que devido à fertilidade de seu solo, criou uma corrida de posse, elevando consideravelmente as taxas de crescimento demográfico.

Na década de 1970 o café passa a ser substituído por outras culturas mais rentáveis e que possam ser alternadas e ter maior variedade de produtos durante o ano como o milho, o trigo e principalmente a soja. Neste mesmo período, a agricultura passa por um período de modernização que permitiu a atual configuração de seu parque agroindustrial. Como afirma Maack (1981), com a crise do café na região, a soja conquistou o patamar de uma das principais culturas produzidas, se tornando a principal atividade econômica desenvolvida. Em pouco tempo, a soja domina o cenário que antes era ocupado pelo café, além disso, expande suas fronteiras condicionando um forte aumento da área produzida no Estado.

Segundo Braun *et al.* (2002), na década de 1970 o Paraná se torna o segundo maior produtor nacional de soja e cevada. O Estado se destaca sendo o primeiro em trigo, algodão e feijão e o quarto em café. Nessa década intensificou-se o processo de modernização agrícola e a integração entre a agricultura e indústria.

Nos períodos seguintes, a agricultura passa a ser voltada para a exportação e se firma como um ponto importante para o Produto Interno Bruto (PIB) do Estado. Neste contexto, a soja se destaca como a principal cultura agrícola produzida, devido a aptidão natural do Estado para a produção e a atração econômica que a cultura tem em função de ser uma *commoditie* valorizada.

Schmidtke *et al.* (2005), relata que entre os produtos de maior expressão na agricultura paranaense, a soja manteve-se na frente dos demais. Sua participação em cada ano subiu, principalmente nas décadas de 1990 e 2000.

Quanto a vegetação nativa, segundo Maack (1981), no início do século XIX e primeiras décadas do século XX, o Paraná apresentava 80% de sua área com vegetação nativa. A partir deste período, o Estado sofreu um intenso e contínuo processo de devastação de suas florestas naturais à custa do desenvolvimento urbano, agrícola e econômico.

De acordo com pesquisas de Gubert (1988), o ciclo de desmatamento começa nos arredores de Curitiba a partir de 1888 motivada pelo mercado madeireiro. Em 1910 a região Sul começa a ser explorada com a venda de madeiras nobres como a araucária, imbuia, cedro e outros. Dez anos mais tarde, a agricultura soma-se ao mercado madeireiro, colaborando com a devastação de áreas florestais.

A partir da década de 1930, como afirma Maack (1981), a frente cafeeira começa a tomar conta do território paranaense, aumentando ainda mais o ritmo do desmatamento em função de ampliar a fronteira agrícola do Estado. Durante a década de 1970, a fronteira agrícola progrediu na frente Oeste, até esgotar-se em meados da década.

Após a década de 1970 e o declínio do café na região, a atividade agrícola se intensifica tendo a soja, o milho e o trigo como os principais vilões do desmatamento, avançando para as demais regiões do Estado. A intensa degradação ambiental da região, com a diminuição de suas mais variadas espécies nativas, impactou irreversivelmente a biodiversidade, além de representar altos custos econômicos, pela perda de florestas naturais e de solos, afirma Gubert (1993).

Segundo o mesmo autor, no período de 1890 a 1990, a vegetação nativa do Paraná reduziu sua cobertura florestal de 16,7 milhões de hectares, ou 83,41% de seu território, para cerca de 872 mil e 600 hectares, ou 5,20% de seu território. Na Figura 6 consta o histórico do desmatamento do Estado do Paraná referente ao período de 1890 a 1980.

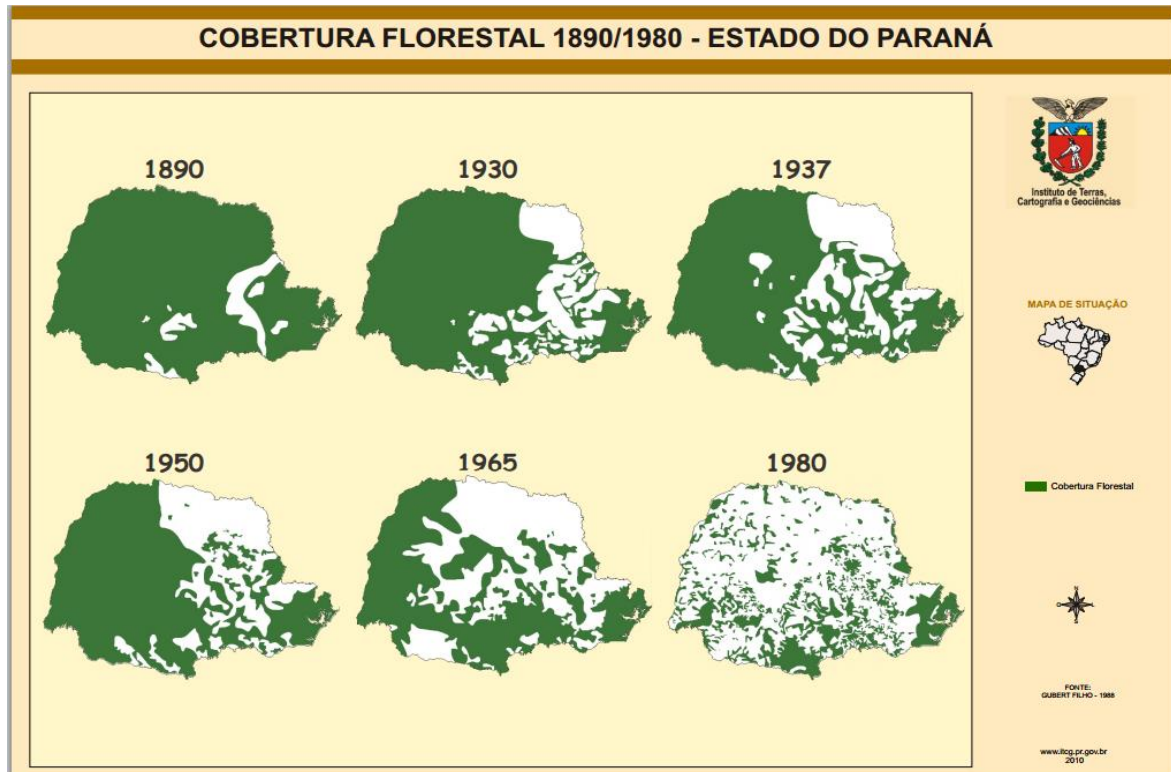


Figura 6 - Cobertura Florestal 1890/1980 – Estado do Paraná.  
Fonte: Gubert, 1988.

### 2.3. Condições ambientais para a produção da soja

Para Farias *et al.* (2000) a disponibilidade hídrica, o foto-período e a temperatura são os fatores que mais afetam o desenvolvimento e a produtividade da soja.

De acordo com a Embrapa (2013), para a obtenção do rendimento máximo, a cultura da soja tem necessidade de água durante o seu ciclo, podendo variar entre 450 a 800 milímetros. As condições de temperatura adequadas para a soja estão entre 20°C e 30°C, sendo a segunda a temperatura ideal para a produção da oleaginosa.

Desta forma, para o bom desenvolvimento da cultura da soja, é necessário que a temperatura e a umidade atinjam características específicas durante cada estágio fenológico da mesma. Para Sedyama *et al.* (1996) durante a germinação/emergência dos grãos é necessário que ocorra um volume pluviométrico na medida certa, pois tanto o excesso quanto a escassez de água podem comprometer o desenvolvimento da planta. No estágio floração/enchimento de grãos, a baixa umidade pode levar a deficiência da planta no processo de

enchimento de grãos, comprometendo a sua produtividade.

O ciclo fenológico da cultura segundo a Embrapa (2013) pode variar em torno de 75 a 200 dias aproximadamente, variando o período entre as espécies precoces, semiprecoces, médio, semitardio e tardio. Podendo ser alterado de uma região para a outra, o período de plantio no Brasil é nos meses de Setembro a Janeiro enquanto a colheita é no período de Janeiro a Maio.

#### **2.4. Geotecnologias e suas aplicações**

A geotecnologia é o conjunto de tecnologias utilizadas na coleta, processamento, análise e disponibilização de informação geográfica. A geotecnologia é composta por soluções em *hardware* e *software* que juntos se constituem em poderosas ferramentas para o auxílio de pesquisas em diversas áreas. Dentre as geotecnologias estão os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global (GPS), Aerofotogrametria, Geodésia e Topografia Clássica, dentre outros.

O geoprocessamento e os SIG foram incrementos tecnológicos que permitiram manipular os dados espaciais dentro de um ambiente computacional. Segundo Câmara & Medeiros (1998), esta informação geográfica é o conjunto de dados cujo significado possuiu associações ou relações de natureza espacial. Sua representação pode ser de forma gráfica (pontos, linhas e polígonos), numérica, (caracteres numéricos) ou alfanumérica (letras e números).

Por meio do Sensoriamento Remoto é possível obter informações de qualquer ponto desejado na superfície terrestre, sem que haja contato físico com a mesma, visto que as informações são obtidas pelo uso da radiação eletromagnética, gerada por fontes naturais como o Sol e a Terra (ROSA, 1995).

Segundo Goodchild (1992 *apud* Rizzi, 2004), as aplicações de geoprocessamento em SIG envolvem dois grupos de dados espaciais: geocampos e geo-objetos.

Os geocampos são variações espaciais contínuas para a identificação das grandezas distribuídas no espaço. Os geo-objetos são dados individualizáveis e possuem características próprias associadas aos mais diversos objetos encontrados no espaço geográfico, em termos do seu posicionamento em relação a um sistema

de coordenadas, de seus atributos e das relações topológicas existentes (CÂMARA, 1995).

Nesses casos, o produto final das geotecnologias são mapas temáticos que podem ser usados em diversas áreas do conhecimento como mapas de vegetação, culturas agrícolas, topografia, hidrografia, econômicos e outros.

Segundo Câmara & Medeiros (1996), os *softwares* utilizados em geoprocessamento, são os chamados SIGs, são programas computacionais especializados para aquisição, edição, armazenamento, integração, análise e saída de dados espaciais.

Dentre as inúmeras aplicações das geotecnologias no ambiente, os estudos voltados ao monitoramento da cobertura vegetal evoluíram muito nos últimos anos. A evolução tecnológica somada à necessidade de pesquisas voltadas a este escopo, fez com que surgissem diversos trabalhos abordando essa temática de forma variada. Estes trabalhos trazem diversos modos e métodos de mapeamento, a fim de trazer maior qualidade ao produto final. A seguir estão alguns exemplos de trabalhos utilizando as geotecnologias e seus estudos voltados à agricultura e a cobertura vegetal nativa em diferentes regiões do Brasil.

Nos estudos voltados a geotecnologias na agricultura podem-se observar estimativas de área, produção e produtividade de culturas agrícolas por meio dessas ferramentas.

Berka *et al.* (2003), utilizou o Sensoriamento Remoto e o Processamento Digital de imagens como ferramentas que podem agir de forma eficiente nos trabalhos de estimativa de produção agrícola em nível regional e estadual, permitindo a obtenção de informações precisas, em tempo hábil e com baixo custo sobre o plantio e até o desenvolvimento das culturas agrícolas.

Já Adami (2003), fez uso das geotecnologias para estimar a área cultivada de café, milho e soja, por meio de imagens de satélites, técnicas de geoprocessamento e a amostragem probabilística da área. Tendo como base a região administrativa e o município de Cornélio Procópio, no Norte do estado do Paraná. O procedimento reduziu a subjetividade no estabelecimento do percentual utilizado para a agricultura em cada estrato, em relação à metodologia utilizada.

Rizzi (2004), também utilizou estas ferramentas para a análise de sistema na estimativa da produção da cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul. A estimativa foi realizada em nível municipal e estadual e foi possível monitorar,

temporal e espacialmente a evolução da produtividade durante todo o ciclo da cultura. Moreira *et al.* (2005) fez uso das geotecnologias para testar modelos lineares de mistura espectral para mapear áreas de soja e milho, em quatro municípios do Estado de Minas Gerais, obtendo resultados satisfatórios no mapeamento.

Moreira (1983), baseado em um sistema de amostragem, realizou uma pesquisa com suporte nos dados de fotointerpretação e imagens do *Land Satellite* (LANDSAT) para estimar a área de trigo plantada em um município do Rio Grande do Sul.

Ganan *et al.* (2005), mapeou as áreas da soja na região Oeste do Estado do Paraná com imagens *Landsat 5*, por meio de classificações digitais supervisionadas. Conclui-se que foi possível mapear as áreas de soja em diferentes estádios de desenvolvimento (vegetativo e reprodutivo), obtendo uma máscara final de soja.

Lohmann *et al.* (2007), analisou a evolução temporal da reflectância da superfície terrestre, a partir de Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), da cultura da soja na safra 2005/2006 no estado do Paraná utilizando o sensor MODIS. Concluiu-se que é possível obter algumas avaliações qualitativas e quantitativas dos plantios das culturas agrícolas, anteriormente às colheitas.

Borges (2009) utilizou as técnicas de Sensoriamento Remoto para elaborar o mapa de cobertura vegetal e uso do solo a partir da utilização das técnicas de segmentação de imagens e classificação por região, do município de Mucugê, localizado na Chapada Diamantina. Os resultados alcançados por meio dos processos de segmentação e classificação das imagens demonstraram-se compatíveis com a realidade de campo

Mercante (2007) utilizou produtos de Sensoriamento Remoto para analisar o comportamento espectral da soja ao longo do seu desenvolvimento produtivo, para uma análise de área e produtividade da cultura no Paraná. Os resultados obtidos indicam que a metodologia proposta se mostrou eficiente para o mapeamento da soja. Conclui-se que a metodologia utilizada no trabalho permitiu que fosse identificado o comportamento espectral dos alvos desejados permitindo o monitoramento do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja.

Silva Júnior *et al.* (2014), mapeou áreas cultivadas de soja por meio de imagens multitemporais ENCI/MODIS utilizando técnicas de classificação de imagens no Sul do Estado do Maranhão. Para este procedimento, foram utilizados

também os processos de Índices de Vegetação para o mapeamento.

Silva L. *et al.* (2015), utilizou imagens de satélite para o mapeamento de área cultivada com soja e milho no Paraná, gerando um mapa de alvos permanentes (florestas, reflorestamento, cidades e pastagem). O trabalho resultou um mapeamento eficaz da cultura de soja sendo confirmado através de métodos de verificação de acurácia. Conclui-se que as estimativas de área obtidas neste trabalho estiveram em concordância com os dados fornecidos pelos órgãos oficiais, não superestimando a área.

Verifica-se que existem diversas formas de utilização das geotecnologias para a agricultura e que é possível obter bons resultados, desde que haja a constante realização de novas pesquisas, para a aplicação e desenvolvimento destas tecnologias.

Nos últimos anos, tem-se intensificado a quantidade de estudos utilizando as geotecnologias como ferramenta para a análise da vegetação nativa. O Sensoriamento Remoto é uma ferramenta que contribui ativamente no estudo da vegetação, é o que afirma Jensen (2009). Estes estudos podem ser voltados tanto para a vegetação nativa, como florestas em áreas de preservação, ou até em áreas agrícolas.

A evolução dos meios tecnológicos, sobretudo computacionais, permitiu que as geotecnologias contribuíssem para os estudos de análise ambiental. O uso de imagens de satélite proporcionou uma considerável gama de resultados no processo de automação nos trabalhos que anteriormente eram executados de forma convencional e tem permitido o processamento de um grande volume de informações relevantes para tomadas de decisão (CÂMARA & MEDEIROS, 2009).

Dentro dos estudos voltados ao uso de geotecnologias no mapeamento de áreas de vegetação destacam-se alguns trabalhos. Araujo *et al.* (2013) utilizou as geotecnologias para o mapeamento da cobertura vegetal da Serra da Meruoca/CE através de imagens orbitais utilizando técnicas de classificação automática. O trabalho contribuiu para a identificação de áreas de vegetação nativa e também de práticas de agricultura de subsistência.

Almeida (2009) empregou as geotecnologias para estimar a área ocupada por vegetação secundária na Amazônia Legal Brasileira (AML) em 2006, caracterizar a sua distribuição espacial e determinar o seu tempo de permanência utilizando imagens *Landsat*. O autor concluiu que o trabalho apresentou bons resultados

quanto à identificação de áreas com cobertura vegetal e áreas devastadas através da modelagem utilizada.

Anderson (2004) apresenta uma proposta metodológica para a realização da classificação da cobertura da terra e o monitoramento das mudanças na cobertura vegetal, devido a fatores naturais e antrópicos a partir dos Índices de Vegetação e *Normalized Difference Vegetation Index* NDVI e EVI no Estado do Mato Grosso. O trabalho apresentou resultados satisfatórios quanto à classificação da cobertura vegetal, monitoramento da fenologia das classes de vegetação mapeadas, quanto ao monitoramento do processo de desmatamento e ao monitoramento das áreas queimadas.

Monteiro *et al.* (2007) avaliou o potencial de imagens *Landsat* para monitorar a qualidade do manejo florestal através do impacto da exploração madeireira. Conclui-se que as imagens *Landsat* podem ser usadas para avaliar o nível dos impactos dos dosséis como um indicador de manejo florestal.

Lorensini *et al.* (2015), utilizou as imagens orbitais para avaliar a expansão da agricultura do bioma Cerrado na região do Matopiba no Nordeste do Brasil, e identificar a época em que ocorreu o desmatamento das áreas de expansão. O cruzamento das máscaras agrícolas com os mapas de desmatamento permitiu identificar que grande parte da expansão da agricultura ocorreu em locais previamente desmatados, indicando a utilização de áreas que já sofreram intervenção antrópica.

De forma geral, a vegetação é tema de diversos tipos de estudos voltados ao monitoramento de coberturas vegetais e a identificação de áreas desmatadas. Este fato torna as geotecnologias uma importante ferramenta para estes estudos.

#### **2.4.1. Fotografias aéreas**

Com a necessidade de se obter a maior quantidade de informações sobre a superfície terrestre, o uso de fotografias aéreas representou uma evolução para o atendimento desta demanda. No geral, as fotografias aéreas são obtidas por meio de câmeras instaladas em aeronaves com altura e velocidade controlada para a obtenção dos produtos fotográficos.

Segundo Marchetti e Garcia (1977), as fotografias são usadas para se obter as medidas reais dos terrenos para a preparação de mapas planialtimétricos. A



fotointerpretação está associada a descrição dos objetos que aparecem na fotografia. Desta forma, a interpretação das fotografias deve ser feita por aquele que possui o conhecimento do estudo qualitativo das fotografias para que a identificação dos objetos seja realizada.

As fotografias aéreas podem ser utilizadas dentro de um SIG para as mais diversas aplicações como o mapeamento de áreas urbanas, monitoramento de regiões costeiras, análise de áreas cobertas por vegetações, monitoramento de áreas demográficas e demais estudos relacionados ao uso e cobertura da terra. (WOLF & DEWITT, 2000).

Antes da disponibilidade das imagens orbitais, as fotografias eram utilizadas para os estudos de análises terrestres, atualmente as fotografias aéreas ainda são utilizadas, contudo as imagens de satélites, principalmente os de alta resolução, têm substituído as fotografias para alguns tipos de estudos.

#### **2.4.2. Sistemas Sensores (Programa *Landsat*)**

Segundo a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), o programa *Landsat* surgiu no final da década de 1960, como parte do Programa de Levantamento de Recursos Terrestres da NASA, em conjunto com outras agências federais dos Estados Unidos. O primeiro satélite foi lançado em julho de 1972.

Ainda, segundo a agência norte-americana, por ter seu início na década de 1960, o programa *Landsat* conta com uma considerável série temporal de imagens e por isso é considerado um dos principais satélites de monitoramento terrestre utilizado no mundo.

O Brasil disponibiliza imagens do *Landsat* desde 1973, através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) gratuitamente. Para trabalhos que utilizam o mapeamento de vegetação, podem ser utilizadas as imagens orbitais dos sensores *Thematic Mapper* (TM) pertencente ao programa *Landsat 5*, *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) referente ao *Landsat 7* e *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), ambos pertencentes ao programa *Landsat 8*. O Quadro 1 ilustra as características técnicas dos satélites *Landsat 5*, *7* e *8*.

<b>Landsat 5</b>		<b>Landsat 7</b>		<b>Landsat 8</b>	
Sensor - TM		Sensor - ETM+		Sensor - OLI/TIRS	
<b>Bandas espectrais</b>	B 1 - Azul (0.450 - 0.520 um) B 2 - Verde (0.520 - 0.600 um) B 3 - Vermelho (0.630 - 0.690 um) B 4 - Infravermelho próximo (0.760 - 0.900 um) B 5 - Infravermelho médio (1.550 - 1.750 um) B 6 - Infravermelho termal (10.40 - 12.50 um) B 7 - Infravermelho médio (2.080 - 2.350 um)	<b>Bandas espectrais</b>	B 1 - Azul (0.450 - 0.515 um) B 2 - Verde (0.520 - 0.605 um) B 3 - Vermelho (0.630 - 0.690 um) B 4 - Infravermelho próximo (0.750 - 0.90 um) B 5 - Infravermelho médio (1.550 - 1.750 um) B 6 - Infravermelho termal (10.40 - 12.50 um) B 7 - Infravermelho médio (2.090 - 2.350 um) B 8 - Pancromática (0.52 - 0.90 um)	<b>Bandas espectrais</b>	B 1 - Coastal/Aerosol (0.435 - 0.451 um) B 2 - Azul (0.542 - 0.512 um) B 3 - Verde (0.533 - 0.590 um) B 4 - vermelho (0.636 - 0.673 um) B 5 - Infravermelho próximo (0.851 - 0.879 um) B 6 e 7 - Infravermelho medio (1.566 - 1.651 um) B 8 - Pancromática (0.52 - 0.90 um) B 9 - Cirrus (1.363 - 1.384 um) B 10 e 11 - Infravermelho termal (10.60 - 11.50 um)
<b>Resolução espacial</b>	Bandas 1, 5 e 7 - 30 metros Banda 6 - 80 metros	<b>Resolução espacial</b>	Banda 6 - 60 metros Banda 1, 5 e 7 - 30 metros Banda 8 - 15 metros	<b>Resolução espacial</b>	Bandas 10 e 11 - 100 metros Banda 8 - 15 metros
<b>Largura da faixa imageada</b>	185 km	<b>Largura da faixa imageada</b>	185 km	<b>Largura da faixa imageada</b>	185 km
<b>Resolução temporal</b>	16 dias	<b>Resolução temporal</b>	16 dias	<b>Resolução temporal</b>	16 dias

Quadro 1 - Características do satélite *Landsat* 5, 7 e 8.

Fonte: NASA, 2014.

Estas imagens *Landsat* são compostas por diversas bandas espectrais que podem ser combinadas em inúmeras possibilidades de composições coloridas e opções de processamento. Estas imagens são separadas por órbitas e pontos que localizam em qual área do globo as imagens estão localizadas.

### 2.4.3. Breve conceito sobre bandas espectrais em sistemas sensores.

No uso das imagens orbitais para o Sensoriamento Remoto é preciso analisar as bandas espectrais e as resoluções espaciais, temporais e radiométrica para que se faça melhor uso dos sensores.

A resolução espectral envolve os parâmetros de número total de bandas espectrais, largura e comprimento de onda e posição da banda no espectro. Quanto mais bandas um sensor possuir, maior será a sua resolução espectral. Além disso, o sensor deve obter uma adequada largura de comprimento de onda e ser composto por várias bandas distintas. Isto poderá facilitar a identificação de diferentes tipos de alvos na superfície. A resolução espectral é uma medida da largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno (NOVO, 2002).

A resolução espacial consiste na forma como o sensor pode identificar os elementos da superfície terrestre consistindo na medição da menor separação angular ou linear entre dois objetos.

Segundo Florenzano (2002), a resolução espacial está atrelada a habilidade do sistema sensor em distinguir e medir os alvos. De forma geral, a resolução espacial pode ser definida como o menor elemento ou superfície distinguível por um sensor. Dessa forma, um sensor como o ETM+ pertencente ao sistema *Landsat 7*, cuja resolução espacial é de 30 metros, têm a capacidade de distinguir objetos que medem, no terreno, 30 metros ou mais.

Já a resolução temporal consiste no tempo total que o satélite leva para dar uma volta completa no Planeta, levando em consideração um mesmo ponto na superfície terrestre. De forma geral, é o tempo total do intervalo que um sistema sensor possui para disponibilizar duas imagens do mesmo local. Este intervalo de tempo, de uma passagem para a outra, está relacionado às características orbitais do satélite como altura, velocidade, inclinação e ao ângulo do sensor.

Em sistemas sensores que fazem o imageamento sistemático da Terra, o conceito de resolução temporal está intimamente relacionado ao tempo necessário para a obtenção de duas imagens de um mesmo local (RIZZI, 2004).

A resolução radiométrica consiste na capacidade de um sensor identificar as diferenças da radiância espectral recebida em números de *pixel*. Na imagem, esta capacidade de identificação é dada pela alternância dos níveis de cinza que podem

diferenciar o alvo imageado. A resolução radiométrica se refere à capacidade de um sistema sensor verificar níveis de intensidade de radiação, de forma geral, trata-se da capacidade de um sensor em detectar variações na radiância refletida e emitida pelos alvos estudados. Desta forma, quanto maior for a resolução radiométrica, que podem ser medidos pela a quantidade de *bits* utilizados na geração de uma imagem, maior será a quantidade de níveis de cinza que o sensor poderá distinguir. Um exemplo pode ser verificado em uma imagem monocromática de 8 *bits* que possuem o total de 256 níveis diferentes de cinza partindo da cor preta e indo até a branca. Neste caso, atribui-se o valor zero ao preto e 256 ao branco (MATHER, 1999).

#### **2.4.4. Comportamento espectral e temporal da cobertura vegetal**

Segundo Novo (2002), um objeto possui particularidades na sua curva espectral, o que faz diferenciar um de outro. Essas particularidades em sua curva são a marca registrada de cada objeto, o que caracteriza a assinatura espectral.

No caso da vegetação, por exemplo, é como diferenciamos uma folha verde e uma folha seca. Em uma imagem espectral é possível diferenciar uma vegetação com alto índice de área foliar de áreas com vegetações mais modestas, ou até áreas com cobertura agrícola. Com pouco mais de conhecimento das relações de absorção/reflectância das faixas de radiações é possível até obter informações adicionais como suprimento hídrico e taxa fotossintética.

Em faixas espectrais visíveis ao olho humano, as plantas, quando saudáveis, no geral são verdes. Isso quer dizer que a radiação na faixa verde do espectro não é absorvida pela planta, enquanto a faixa de radiação azul e vermelha são as mais absorvidas, porque são as mais atuantes nas reações da fotossíntese. As plantas possuem características marcantes em determinadas faixas do espectro. O que se observa na vegetação e que difere da grande maioria dos alvos terrestres é a baixa reflectância da faixa do vermelho associado à elevada reflectância (aumento abrupto) da faixa do infravermelho próximo.

Segundo Jensen (2009) a identificação da vegetação nas imagens orbitais ocorre no processo de fotossíntese. Entre os valores de 0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$  (parte visível do espectro eletromagnético) acontece a alta absorção da radiação na vegetação que ocorre devido a atividade fotossintética. Os maiores valores de absorção podem ser identificados nas regiões do vermelho e do azul, tendo um máximo de

refletividade no comprimento de onda de 0,55  $\mu\text{m}$  (verde). Na Figura 7 apresenta-se um gráfico onde expõe-se o comportamento da assinatura espectral da vegetação em uma imagem orbital quanto à reflectância (eixo y) em função do comprimento de onda (eixo x).

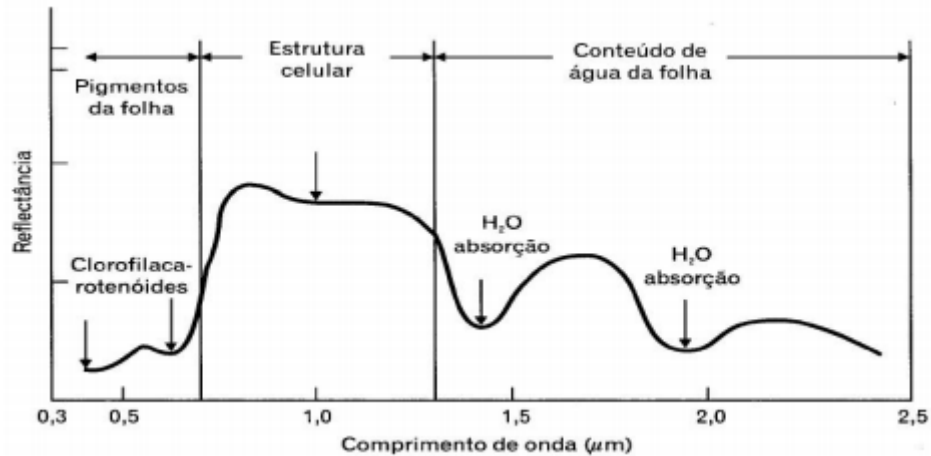


Figura 7 – Esquema de reflectância típica da vegetação.  
Fonte: Adaptado de Bowker *et al.* 1985.

Para lavouras agrícolas, nem sempre é somente necessário saber que espécie vegetal foi plantada na área observada, por isso são necessárias análises mais apuradas para esses casos. Alvos agrícolas são caracterizados por serem dinâmicos na paisagem, mudam constantemente devido o ciclo relativamente curto. Para diferenciação de alvos agrícolas devemos primeiramente saber as possíveis culturas que podem ter sido plantadas na região. Esta análise está atrelada a dados como ciclo da cultura, calendário agrícola, zoneamento agroclimático e outros.

Uma cultura agrícola apresenta diferentes respostas espectrais conforme sua etapa de desenvolvimento. Desta forma, mesmo possuindo semelhanças espectrais, duas culturas podem ser diferenciadas por se encontrarem em fases fenológicas diferentes. Isto pode ocorrer pelo fato das mesmas terem sido semeadas em períodos distintos ou possuírem ciclos fenológicos diferentes. Para sanar este tipo de equívoco, devem ser utilizadas várias imagens em diferentes períodos para facilitar ou aumentar a precisão da classificação de alvos agrícolas através de sensoriamento remoto. Com isso, o conhecimento das características de tempo de cultivo e da distribuição espacial da cultura na região de estudo é fundamental para a escolha do período para a aquisição das imagens (RIZZI, 2004).

### **2.4.5. Processamento Digital de Imagens (PDI)**

Processamento Digital de Imagens (PDI) são as inúmeras formas de processamento computacional de imagens orbitais como a retificação, realce, classificação e outros, que permitem que o usuário extraia e identifique informações que podem ser submetidos a demais tipos de processos.

Entendem-se como PDI a manipulação de produtos oriundos de Sensoriamento Remoto por computador, de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens. O objetivo do uso de PDI é o aprimoramento do aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (SPRING, 1996).

As técnicas de PDI identificam fenômenos importantes em uma cena, para que se tornem visualmente mais nítidas. Assim, pode-se afirmar que, estas técnicas estão inseridas no conjunto de ferramentas de análise dos dados. Isso porque, ao melhorar a possibilidade de interpretação destes dados, os mesmos serão medidos e a informação será usada na solução de problemas (JENSEN, 2009).

Dentre as diferentes formas de processamento digital de imagens orbitais, algumas técnicas serão descritas a seguir.

#### **2.4.5.1. Pré-Processamento**

O processo de georreferenciamento tem como principais funções a integração de uma imagem orbital à base de dados existentes dentro de um mesmo sistema de coordenadas, aplicação nas mais diversas áreas que exigem alta precisão geométrica ou fidelidade com respeito à cena, fusão de imagens adquiridas por sensores diferentes, aplicações relacionadas ao mosaico de diferentes imagens sobre uma grande área e na análise de dados multitemporais. Desta forma, é necessário que a precisão cartográfica seja avaliada e que as distorções sejam corrigidas a fim de, possuir elementos em comum dentro de um sistema de coordenadas. (QUEIROZ, 2003).

A correção geométrica é um procedimento relacionado a fim de mitigar o total de erros encontrados nas imagens orbitais. As imagens podem conter equívocos em suas dimensões geométricas, pois os sensores percorrem uma órbita que pode

ocasionar variações na imagem. Além disso, a Terra, também em constante movimento, pode contribuir para esses erros. Desta forma, a correção geométrica é realizada através de uma porção de procedimentos matemáticos e computacionais de manipulação nas imagens visando melhorias no produto final. Segundo Debiase *et al.* (2007), as correções geométricas buscam a resolução de erros de localização geográfica nas imagens orbitais, possibilitando a comparação da imagem corrigida à uma base cartográfica.

Caracteriza-se pelo processo de eliminação das distorções geométricas sistemáticas introduzidas na formação das imagens. Permite que a imagem fique no mesmo sistema de projeção e localização da base de dados existentes em um SIG.

Este procedimento pode ser dividido em etapas distintas, onde ocorre transformação geométrica, mapeamento inverso e reamostragem. Segundo Queiroz (2003), a transformação geométrica gera uma relação entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas. Já o mapeamento inverso consiste na inversão da geometria obtida no mapeamento direto, permitindo que se retorne à imagem original para que se definam os níveis de cinza que comporão a imagem corrigida. Na reamostragem ocorre a interpolação dos níveis de cinza da imagem original.

O registro consiste em uma etapa onde permite que o usuário efetue uma correção das distorções das imagens por meio de operações matemáticas que relaciona os pontos coletados na imagem com os respectivos pontos reais no terreno, podendo ser feito manual ou automaticamente.

O registro de imagens é o processo onde ocorre a sobreposição de várias imagens referentes a mesma área de estudo. Deste modo, os pontos nas imagens devem coincidir e ser correspondentes aos mesmos objetos de uma cena. Este processo é realizado através de uma transformação espacial, que relaciona as coordenadas espaciais das imagens e modela a distorção geométrica entre elas. (FONSECA, 1999).

Outra etapa atribuída ao pré-processamento de imagens é o realce que consiste em uma técnica para melhorar a definição dos alvos das imagens, por meio do aumento do contraste entre os diferentes níveis de cinza em uma imagem. (MATHER, 1999),

#### **2.4.5.2 Segmentação**

O processo de segmentação consiste em um agrupamento de informações contida nas imagens orbitais de forma não supervisionada, para que o processo de classificação digital ocorra com maior facilidade.

Para o procedimento de mapeamento de cobertura vegetal, geralmente é utilizada a técnica da segmentação por “crescimento de regiões”, utilizando limiares de área e similaridade de acordo com a imagem escolhida. Segundo Lopes *et al.* (2009), a segmentação separa cada “*pixel*” como uma região isolada e posteriormente é utilizado um valor de similaridade para cada par de regiões. A escolha do valor de similaridade é baseada em um teste de hipótese estatístico que testa a média entre regiões. Após este procedimento, a imagem é dividida em várias subimagens que posteriormente serão unidas, segundo um limiar de similaridade.

Para a definição dos limiares de similaridade e área no processo de segmentação é necessário que, no caso da similaridade, escolha-se um valor abaixo dos quais duas regiões são consideradas similares e agrupadas em uma única região. Já para o valor de área, precisa ser selecionado um valor mínimo dado em número de pixels, para que uma região seja individualizada (SHIMABUKURO *et al.* 1997).

#### **2.4.5.3. Classificação de imagens**

A Classificação Digital de Imagens é o processo de agrupamento dos pixels em regiões de interesse em uma classe temática. De acordo com Jensen (2009), a classificação digital de imagens é um dos métodos mais utilizados para se extrair informações de dados de Sensoriamento Remoto. Basicamente, existem duas formas de realizar a classificação de imagens orbitais, uma por técnicas automáticas de processamento digital e outra pelo método da interpretação visual, executadas pelo observador da imagem. No final da classificação, geralmente se obtém uma imagem onde os pixels classificados são graficamente separados compondo diversas classes temáticas.

Existem dois tipos de classificações digitais automáticas que atribuem a classes temáticas de acordo com o tipo de treinamento utilizado. As classificações utilizadas podem ser: supervisionadas e não supervisionadas.



A classificação supervisionada consiste em um processo onde a confecção do mapa é definida através do interesse do usuário em agrupar determinados grupos de pixels de acordo com um treinamento pré-estabelecido. Campbell (1987) afirma que este tipo de classificação é aquele em que o usuário define as categorias que serão representadas na imagem, identificando pixels pertencentes a uma determinada cobertura que já se conhece, por meio da coleta de amostras numa etapa que chamamos de treinamento.

Dentre os diversos métodos de classificação supervisionada destaca-se o método *Bhattacharya* onde é necessário que se utilize as áreas selecionadas através do processo de treinamento, podendo utilizar as regiões obtidas pela segmentação das regiões a serem classificadas. Segundo Moreira *et al.* (2005) o classificador de *Bhattacharya* é um algoritmo de classificação supervisionada, onde o usuário define áreas de treinamento, podendo utilizar as regiões separadas durante o processo de segmentação ou polígonos representativos das regiões a serem classificadas. Este classificador utiliza as amostras de treinamento para estimar a função de densidade de probabilidade das classes apontadas no treinamento. Em seguida, avalia, em cada região, a distância de *Bhattacharya* entre as classes.

Segundo Bhattacharya (1967), o método gráfico para decomposição de uma distribuição de frequências, é calculado conforme fórmula a seguir:

$$\beta(p_i, p_j) = \frac{1}{2} (m_1 - m_2)^t \sum (m_i - m_j) + \frac{1}{2} \ln \left| \frac{\sum (m_i - m_j)}{|\sum_i i|^{\frac{1}{2}} |\sum_j j|^{\frac{1}{2}}} \right|$$

Onde:

- B = distância de Bhattacharya;
- $p_i$  e  $p_j$  = pixels nas classes  $i$  e  $j$ ;
- $m_i$  e  $m_j$  = médias das classes  $i$  e  $j$ ;
- T = matriz transposta;
- ln = logaritmo neperiano;
- $i$  e  $j$  = classes dentro do contexto.

Quanto a classificação não supervisionada, diferente da anterior, o método de

agrupamento de pixel não é definido pelo usuário na etapa de treinamento, mas sim por um modelo algorítmico computacional.

Na classificação não supervisionada não existe interação entre o sistema computacional e o usuário do sistema. Durante a etapa de treinamento, alguns algoritmos necessitam de parâmetros que devem ser fornecidos ao sistema (MOREIRA, 2001).

Um modelo de classificador bastante utilizado é o ISOSEG que diferente do *Bhattacharya* apresenta um modelo de classificação baseada em métodos estatísticos computacionais. O ISOSEG utiliza os atributos estatísticos das regiões: a matriz de covariância e o vetor de média, para estimar o valor central de cada classe.

Para Camara et al (1996), o ISOSEG possui um algoritmo para classificação de regiões de uma imagem, onde ocorre o agrupamento de dados não supervisionado, aplicado sobre o conjunto de regiões, que por sua vez são caracterizadas por seus atributos estatísticos de média e matriz de covariância, e também pela área.

Após o resultado da classificação automática, pode ser realizada, através dos *softwares* computacionais a edição manual do produto adquirido através de uma varredura minuciosa, a fim de identificar as incoerências cometidas pelo classificador automático. Para isso, deve ser realizada a edição das áreas onde o processo automático omitiu e classificou de forma incorreta as áreas nas imagens orbitais.

Os resultados dos métodos de classificação geralmente auxiliam no mapeamento de classes de uso e ocupação do solo, contudo, podem ocorrer equívocos no processo de classificação. Estes erros ocorrem pelo processo de omissão ou inclusão de áreas em uma determinada classe temática. (RIZZI, 2004).

Neste processo, é necessário que se obtenha um bom nível de conhecimento sobre a área que está sendo mapeada. Deve-se reunir o maior número de informações do local, para que este processo de edição manual seja feito com maior eficiência. Além disso, a análise de dados, como fotografias aéreas, visitas de campo e análises bibliográficas contribuem para a maior qualidade do produto final mapeado.

## 2.5. Validação da exatidão do mapeamento

Para a verificação da exatidão dos mapas elaborados, é necessário que se utilizem técnicas que permitam que seja calculada e avaliada a qualidade do mapeamento. Segundo Ma & Redmond (1995) estas técnicas de validação têm como ponto inicial a construção de uma matriz de erro onde constam as áreas que o mapa não refletiu a realidade observada na superfície terrestre. Do ponto de vista das imagens orbitais, refere-se à comparação de dados que representam a distribuição de percentagem de pixels classificados de forma correta ou equivocada em relação à verdade terrestre de referência.

De acordo com Hay (1988, *apud* Dainese, 2001), existem três objetivos no uso da matriz de erro: a) permitir a correção de áreas onde ocorreram equívocos causados pelo processo de classificação; b) o cálculo de parâmetros de exatidão geral da classificação e; c) identificação de erros específicos que afetem cada uma das categorias.

Um dos métodos que podem ser utilizados para a validação do mapeamento é o Ginevan (1979), o autor afirma que este método tem como objetivos: a) obter baixa probabilidade de se adquirir um mapa com baixa qualidade (risco do usuário =  $\beta$ ); b) ter considerável probabilidade de se obter um mapa de alta qualidade (risco do produtor =  $\alpha$ ); c) requerer um número mínimo de amostras para a verificação (N).

Valeriano (1985) utilizou este método de validação para avaliar o mapeamento realizado através de diversas técnicas cartográficas. Segundo este mesmo autor, o método fornece dados de qualidade ao usuário do mapa, para que este se torne válido.

Já Pilachevsky (2013) utilizou esse método para validar o seu mapeamento de uso e cobertura do solo em São João da Boa Vista/SP e obteve o resultado de mapeamento com o erro de aproximadamente 15%.

### CAPÍTULO 3

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 3.1. Aspectos gerais

O trabalho foi realizado nos municípios de Assis Chateaubriand, Cafelândia, Cascavel, Iracema do Oeste, Jesuítas, Maripá, Nova Aurora, Toledo e Tupãssi. Estes municípios foram selecionados por estarem localizados na parte Oeste do Estado do Paraná, onde nota-se que grande parte do território é utilizada para cultivo da soja. O clima e o solo são propícios para o cultivo da oleaginosa, fato que explica tamanha participação das atividades voltadas a esta cultura na economia desses municípios.

Existe todo um complexo produtivo envolvendo indústrias, cooperativas de produtores e empresas de comercialização a fim de movimentar a grande produção desses municípios. A área abordada neste trabalho também possui um grande complexo logístico para escoamento da produção em direção as demais localidades nacionais, destinando-se à produção de farelo e óleo. Já a exportação da soja é realizada majoritariamente no porto de Paranaguá.

Esses municípios são os principais tomadores de decisão para a formação do preço para a região Oeste do Paraná. No Quadro 2 apresenta-se os dados de localização geográfica, território e total de habitantes de todos os municípios selecionados. Já na Figura 8 apresenta o mapa da localização da área de estudo no Estado do Paraná.

<b>Município</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Território</b>	<b>População</b>
Assis Chateaubriand	24° 24' 53" Sul	53° 31' 39" Oeste	969,588 km <sup>2</sup>	33.028
Cafelândia	24° 37' 5" Sul	53° 19' 18" Oeste	271,724 km <sup>2</sup>	14.551
Cascavel	24° 57' 20" Sul	53° 27' 19" Oeste	2.100,105 km <sup>2</sup>	286.172
Iracema do Oeste	24° 25' 24" Sul	53° 20' 55" Oeste	81,538 km <sup>2</sup> .	2.578
Jesuítas	24° 22' 55" Sul	53° 22' 34" Oeste	247,496 km <sup>2</sup>	9.832
Maripá	24° 25' 8" Sul	53° 52' 6" Oeste	283,802 km <sup>2</sup>	5.691
Nova Aurora	24° 31' 40" Sul	53° 14' 59" Oeste	474,011 km <sup>2</sup>	11.871
Toledo	24° 43' 12" Sul	53° 44' 36" Oeste	1 197,016 km <sup>2</sup>	119.353
Tupãssi	24° 35' 12" Sul	53° 30' 56" Oeste	310,912 km <sup>2</sup>	7.997

Quadro 2 – Localização geográfica, extensão territorial e número de habitantes dos municípios selecionados.

Fonte: IBGE, 2015.

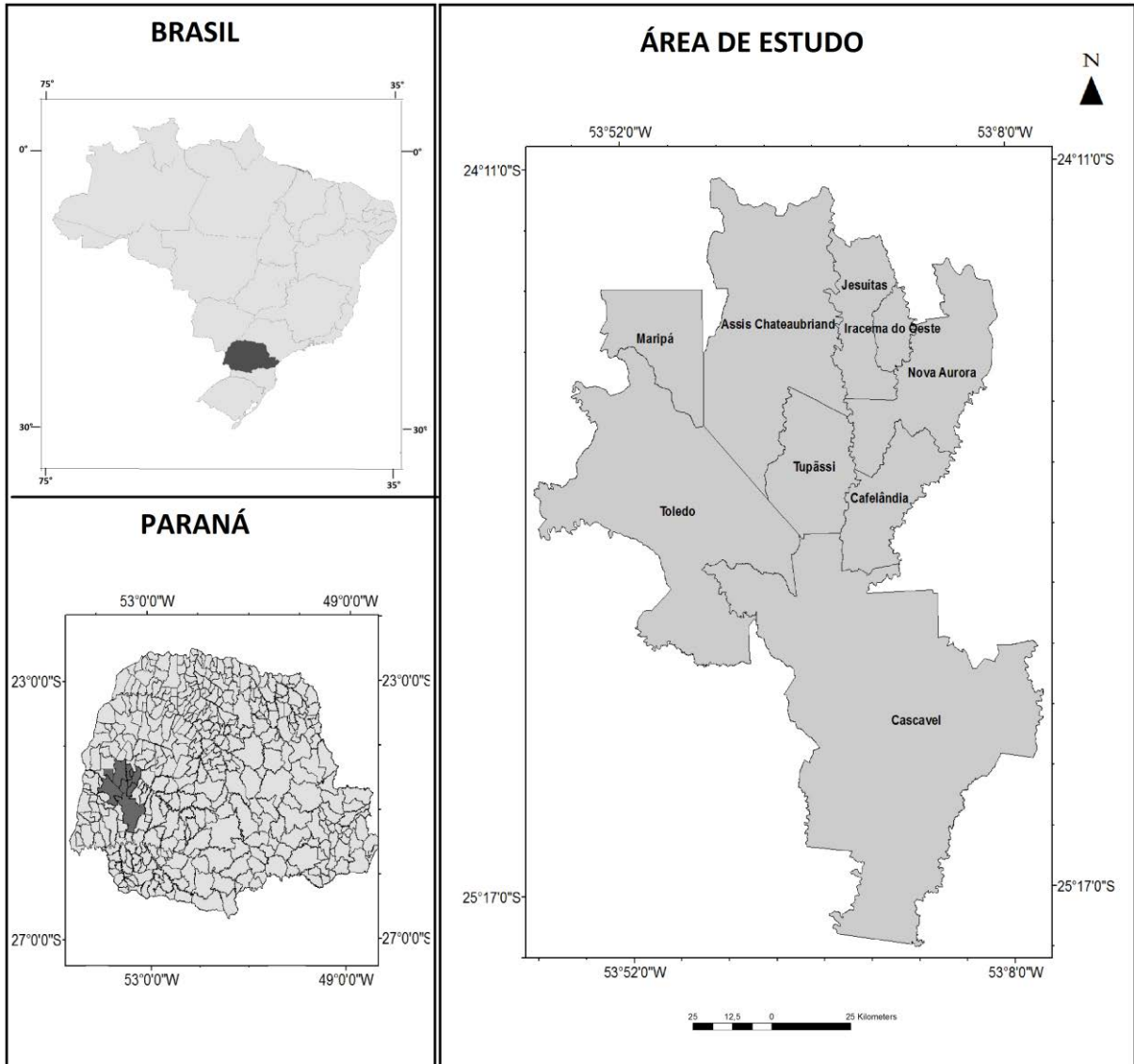


Figura 8 - Localização geográfica da área de estudo no Paraná.  
Elaborado pelo autor, 2015.

Outro critério utilizado para a seleção desses municípios foi que a maior parte de seu território está destinada a semeadura da soja. Todos esses municípios historicamente obtiveram boa parte de sua vegetação nativa desmatada em função do avanço da fronteira agrícola ao longo do período estudado neste trabalho.

Esta região apresenta outra característica, o aumento da produtividade e da área de soja ao longo das últimas safras. Na Tabela 3 estão os dados da área total semeada, de produção total e do rendimento médio de cada município selecionado no ano de 2013.

Nota-se que o município de Cascavel apresenta maior área e produção de soja, seguindo por Assis Chateaubriand e Toledo. Já o rendimento é maior no município de Cafelândia, seguido por Cascavel e Nova Aurora.

Tabela 3 - Área, produção e rendimento de soja nos municípios selecionados e no Estado do Paraná em 2013.

<b>Município</b>	<b>Área – ha</b>	<b>Produção – ton.</b>	<b>Rendimento-kg/ha</b>
Assis Chateaubriand	69.900	97.900	1.401
Cafelândia	21.920	65.175	2.973
Cascavel	85.700	225.160	2.627
Iracema do Oeste	6.710	11.387	1.697
Jesuítas	11.500	23.000	2.000
Maripá	23.510	22.126	1.024
Nova Aurora	30.911	77.114	2.495
Paraná	4.456.805	10.937.896	2.454
Toledo	62.600	85.220	1.361
Tupãssi	22.100	48.144	2.178

Fonte: IBGE, 2015.

### **3.2. Características geológicas, geomorfológicas e pedológicas.**

O Estado do Paraná apresenta, segundo Maack (1981), três planaltos e uma região litorânea. De acordo com a Mineropar (2006), na parte Litorânea e Primeiro Planalto estão localizadas rochas magmáticas e metamórficas mais antigas. No Segundo Planalto está os afloramentos da Bacia do Paraná e no Terceiro Planalto, parte que corresponde à área de estudo, onde ocorrem as rochas magmáticas formadas no Grupo Serra Geral, recobertas por sedimentos cretáceos. No Terceiro Planalto, no período Mesozoico, no Juro-cretáceo, entre 133 e 129 milhões de anos, houve intenso vulcanismo responsável pela Formação Serra Geral (Grupo São Bento), revestindo parte das rochas sedimentares e definindo o Terceiro Planalto Paranaense (TEIXEIRA, 2003).

Geomorfologicamente, a área de estudo, insere-se na unidade morfoestrutural do Terceiro Planalto Paranaense, que possui as unidades morfoestruturais do Planalto de Cascavel, do Planalto do Baixo Iguaçu e do Planalto de Umuarama, que podem ser observados na Figura 9 de acordo com o Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG).

# GEOMORFOLOGIA - ESTADO DO PARANÁ

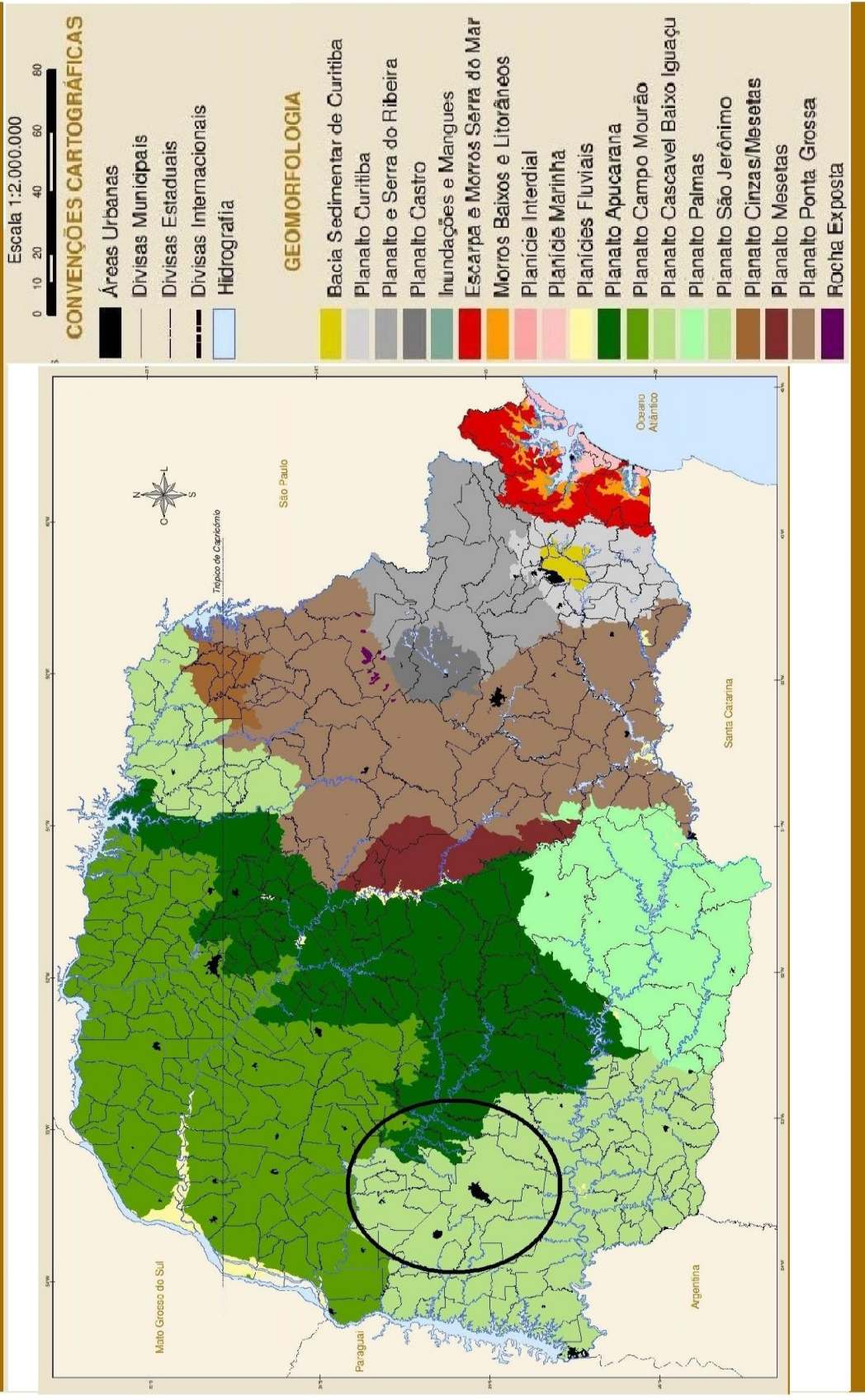


Figura 9 - Mapa Geomorfológico do Estado do Paraná.  
 Fonte: Adaptado de ITCG, 2008.

Os solos do Paraná são bastante variados o que apresenta grande aptidão para cultivares agrícolas em sua maioria. Na parte ocidental do Estado existe o predomínio de latossolos o que facilita o cultivo da soja.

Segundo a Embrapa (1999), na área de estudo selecionada predominam basicamente os Latossolos, Nitossolos e Neossolos Litólicos. Estes tipos de solos, em condições de usos naturais, são propícios para o cultivo da soja e demais culturas agrícolas. Este fato torna a cultura da oleaginosa extremamente atrativa para os produtores da região.

Na Figura 10 pode ser observado o mapa referente aos solos do estado do Paraná elaborado pela Embrapa.



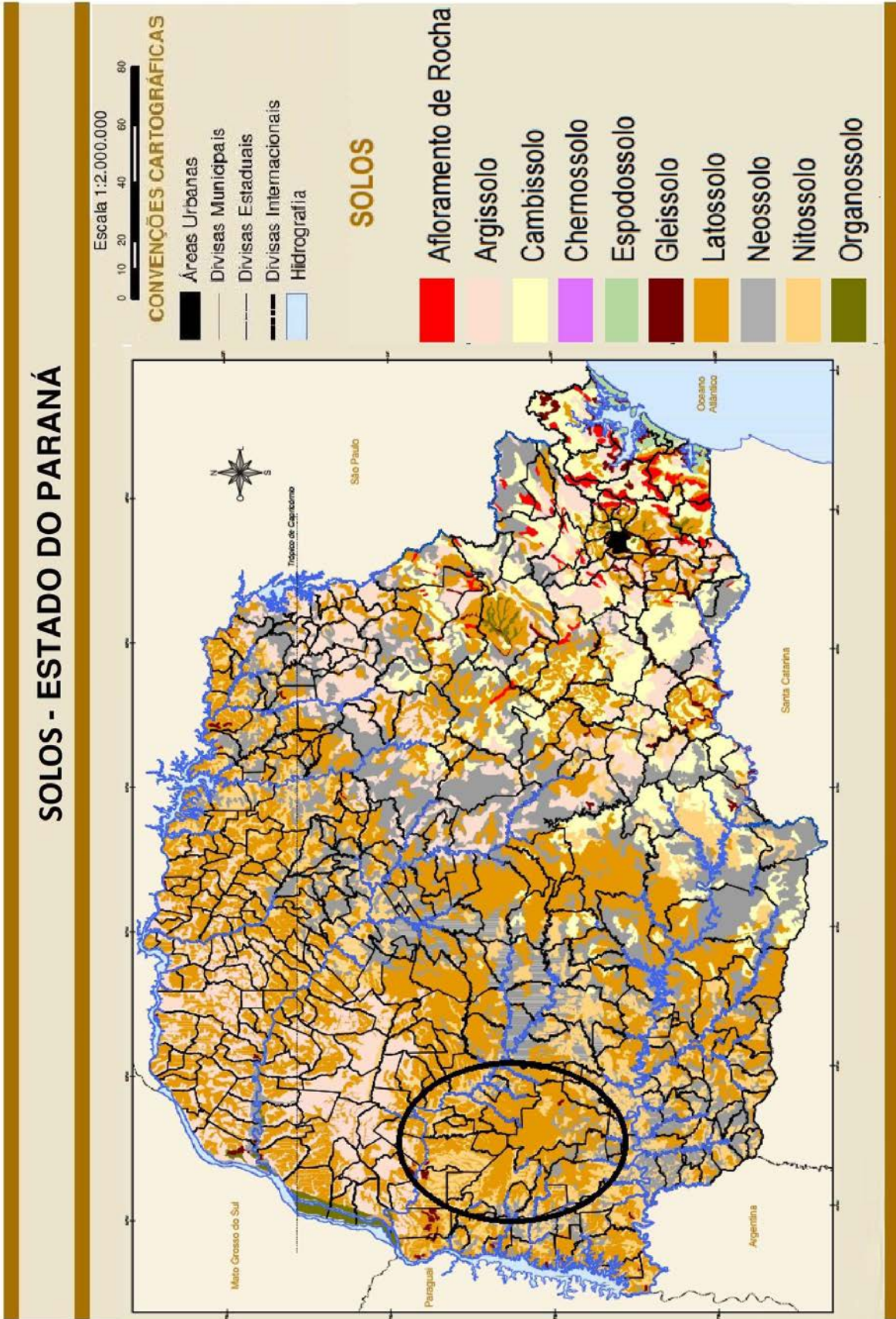


Figura 10 - Mapa simplificado de solos do Estado do Paraná.  
Fonte: Adaptado de ITCG, 2008.

### **3.3. Aspectos Climáticos**

A região estudada possui o clima subtropical úmido, conforme a Classificação climática de Köppen, que é uma das mais utilizadas para as análises desta natureza. Segundo Ayoade (1998), a classificação climática de Köppen se baseia principalmente, nas características térmicas e na distribuição sazonal da precipitação para classificar os dados climáticos de cada região. O clima subtropical úmido permite que a área de estudo possua características propícias para o cultivo da soja, explicando a sua grande expansão pelo território ao longo dos anos.

A Figura 11 denota o mapa climático segundo Köppen, elaborado pelo ITCG. O mapa mostra que a área de estudo está predominantemente no clima subtropical úmido.

# CLIMA - ESTADO DO PARANÁ

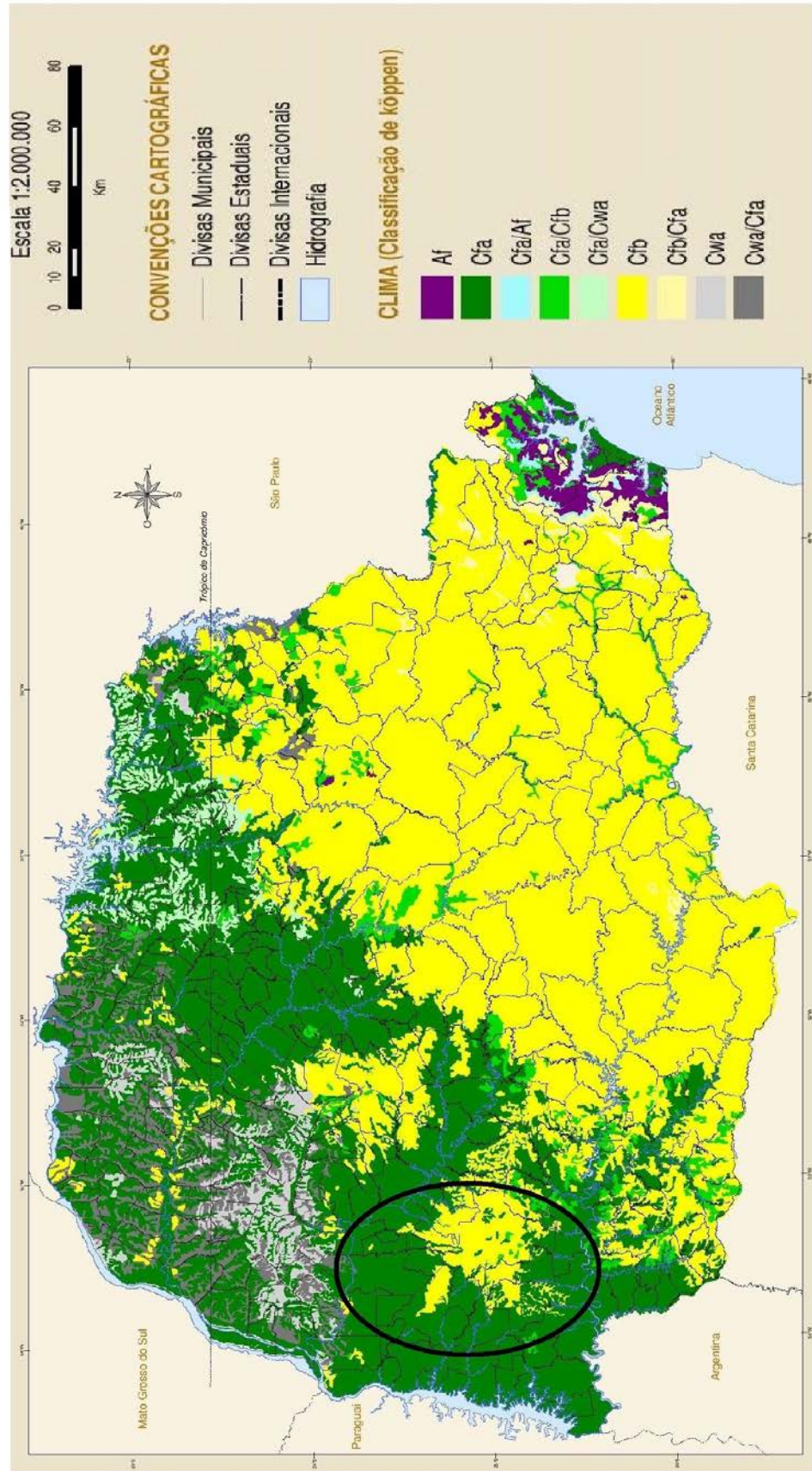


Figura 11 - Mapa Climatológico do Estado do Paraná.  
 Fonte: Adaptado de ITCCG, 2009

Enquanto ao regime pluviométrico, a área estudada apresenta maior umidade durante a etapa mais quente do ano e, um mais seco durante o período mais frio. O regime pluviométrico apresenta-se satisfatório durante praticamente todo o ano, do ponto de vista para o desenvolvimento da vegetação. Especificamente nos meses de desenvolvimento da safra de soja, a parte Oeste do Estado do Paraná, apresenta alto nível de umidade, fato que contribuiu para o desenvolvimento da oleaginosa em todo o seu período produtivo.

Na Figura 12, estão os dados de precipitação anual média, na estação meteorológica localizada na região Oeste do Estado do Paraná, no município de Campo Mourão Latitude a 24° 24' 53" Sul e Longitude 53° 36' 66" Oeste, estação mais próxima à área de estudo. Os dados, fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), datam de 1980 a 2014 e apontam que a média pluviométrica anual foi de 134 mm ocorrendo algumas oscilações durante todo o período histórico.

No ano de 1983, houve a maior índice pluviométrico com o nível médio atingindo um pouco mais de 210 mm. Já o ano mais seco observado foi em 1985 com a média um pouco abaixo dos 87 mm.

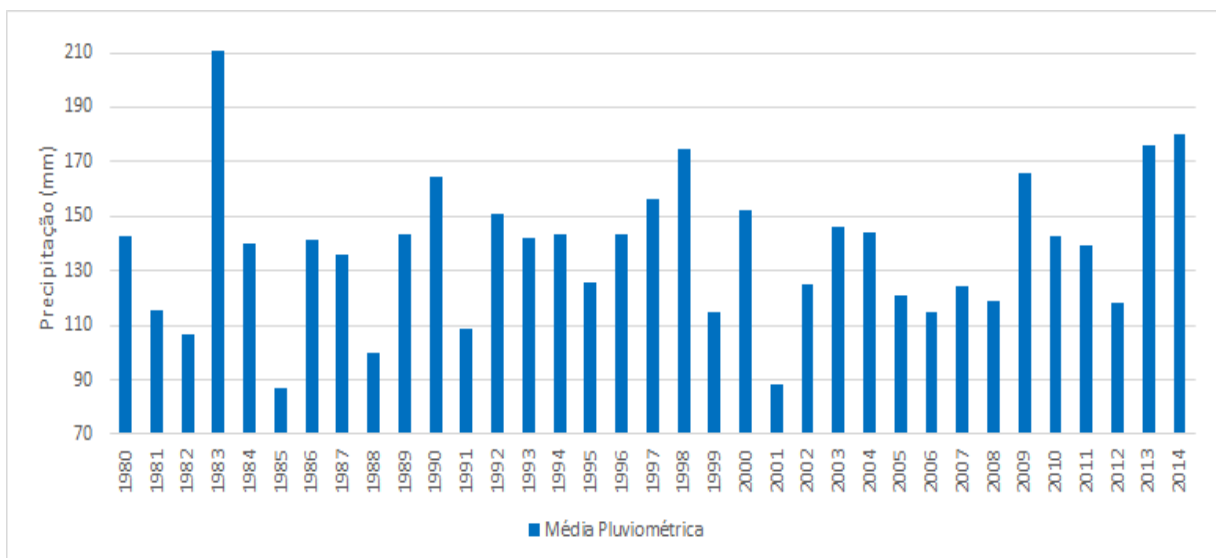


Figura 12 – Média Anual Pluviométrica da Estação Meteorológica do município de Campo Mourão no Oeste do Paraná.

Fonte: INMET, 2015.

De forma geral, o clima quente e úmido no período de desenvolvimento da oleaginosa permite que o nível de produtividade seja alto e aumente os níveis de produção a cada safra. Segundo a Embrapa (1981), o clima do Paraná é propício

para a produção de soja devido as altas temperaturas no verão e o elevado índice pluviométrico para o desenvolvimento da cultura.

### **3.4. Cobertura Vegetal e Uso da Terra**

A vegetação do Paraná naturalmente apresenta uma elevada biodiversidade em função das características físicas propícias para o desenvolvimento vegetativo.

De acordo com Maack (1981), a vegetação do Estado do Paraná é composta principalmente por cinco regiões Fitogeográficas distintas as quais abrangem catorze formações. As grandes regiões Fitogeográficas são: Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Fluvial Subcaducifólia); Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica); Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária, Mata dos Pinhais); Estepe Gramíneo-Lenhosa; Savana Arborizada.

Na Figura 13 está o mapa elaborado pelo ITCG a partir dos dados de Maack (1981) sobre as formações fitogeográficas do Estado do Paraná.

# FORMAÇÕES FITOGEOGRÁFICAS - ESTADO DO PARANÁ

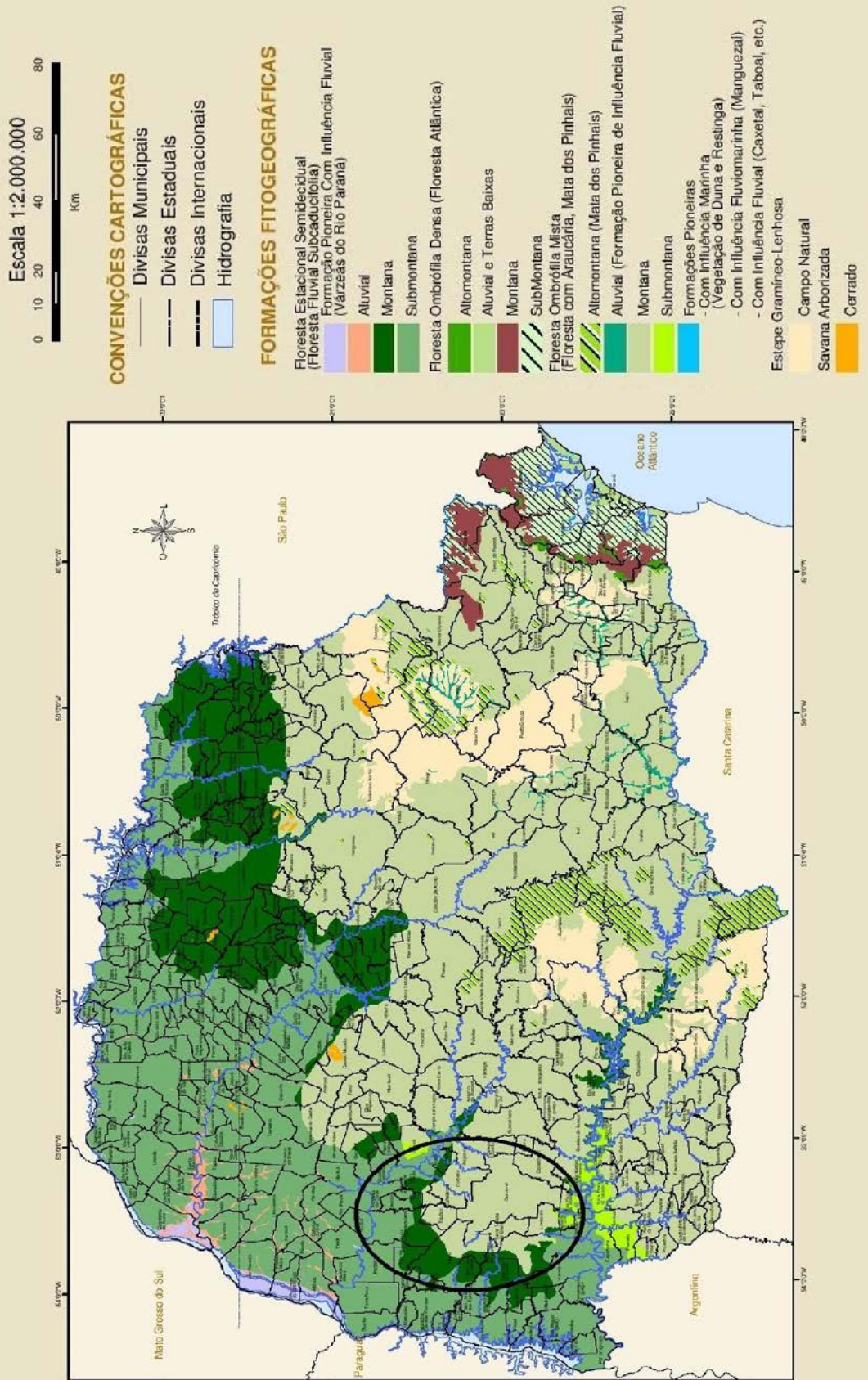


Figura 13 - Mapa Fitogeográfico do Estado do Paraná.  
 Fonte: Adaptado de MAACK e ITCG, 2009

Conforme os dados observados no mapa, a área de estudo está localizada na zona da Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica) e Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Fluvial Subcaducifólia).

Dentro da Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica) encontram-se os municípios de Cascavel, Tupãssi, Cafelândia, Nova Aurora e Toledo onde ocorre a formação Aluvial e Terras Baixas.

Na Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Fluvial Subcaducifólia) encontram-se os municípios de Assis Chateaubriand, Iracema do Oeste, Jesuítas, Nova Aurora, Maripá e Toledo dentro da formação Montana. Já na formação Sub-Montana encontram-se os municípios de Toledo, Maripá, Assis Chateaubriand, Jesuítas, Iracema do Oeste e Nova Aurora.

No geral, atualmente, além da área urbana e vegetal, boa parte do município está ocupada pela a agricultura, sobretudo para o cultivo da soja e milho.

## CAPÍTULO 4

### 4. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 4.1. Materiais e equipamentos

##### 4.1.1. Ferramentas computacionais

Todos os procedimentos realizados neste trabalho foram executados em um microcomputador padrão *Personal Computer* (PC), onde *hardware* e *software* e sistema operacional foram suficientes para a elaboração e execução de todo o projeto.

Um dos *softwares* utilizados foi o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), versão 5.1.8, um sistema de informação geográfica, desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE e que conta com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais. Segundo Camara et al (1996), os objetivos são construir o sistema de informações geográficas para aplicações em Agricultura, Floresta, Gestão Ambiental, Geografia, Geologia, Planejamento Urbano e Regional e demais áreas. Além disso, o sistema busca tornar público um SIG didático ao usuário final.

Dentre suas diversas aplicações, o SPRING é um SIG com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta de banco de dados espaciais (CÂMARA *et al.*, 1996).

Também foi utilizado para a elaboração dos mapas deste trabalho o *software* Arcgis versão 10, grupo de *softwares* que constitui um sistema de informação geográfica. O Arcgis é propriedade da Empresa *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), este sistema permite que o usuário utilize ferramentas para a elaboração de mapas através da análise espacial, armazenamento, manipulação e processamento de dados geográficos.

##### 4.1.2. Base cartográfica

As bases cartográficas digitalizadas utilizadas para o início do mapeamento foram cedidas pelo ITCG do Paraná e estão em uma escala de 1:100.000 abrangendo um mosaico que confere a todo o Estado do Paraná.



Dentro das cartas de articulação do Estado do Paraná, foram selecionados seis referentes à área de estudo com dados de topografia vetorizados. As cartas selecionadas foram: SG-22-V-A-IV (MI-2817); SG-22-V-A-I (MI-2800); SG-22-V-A-II (MI-2801); SG-22-V-A-V (MI-2818); SG-22-V-C-II (MI-2834); SG-22-V-C-I (MI-2833).

Estes dados serviram de base para a inicialização do mapeamento da área de estudo permitindo a seleção e correção de algumas imagens orbitais e fotografias aéreas para o mapeamento da soja e da vegetação nativa.

#### **4.1.3. Dados de sensoriamento remoto**

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados de sensoriamento remoto para que o mapeamento da área de estudo fosse efetuado. Estes dados são aqui representados por fotografias aéreas e imagens *Landsat* dos períodos selecionados.

##### **4.1.3.1. Fotografias Aéreas**

Para o mapeamento referente ao ano de 1953, precisaram ser utilizadas fotografias aéreas. Neste período, não existiam imagens *Landsat*, por isso as fotografias foram necessárias. Este material é oriundo do levantamento aéreo que foi cedido pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geociências do Paraná. Contudo, as fotografias, que se encontram impressas, com o passar do tempo apresentam-se danificadas, dificultando o mapeamento da área de estudo neste período.

As fotografias aéreas pancromáticas foram adquiridas entre Julho e Novembro de 1953 pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG). O levantamento aéreo foi feito a aproximadamente 3.850 metros de altitude na escala de 1:50.000.

Posteriormente, as fotografias foram selecionadas e submetidas ao processo de digitalização, uma de cada vez. Após a digitalização, as mesmas passaram pelo pré-processamento (ver item 2.5.5.1.) para posteriormente serem submetidas ao processo de edição manual. Nesta etapa foram realizados os processos de georreferenciamento e correção geométrica em cada fotografia utilizando a base cartográfica já citada através do *software* Arcgis utilizando a Projeção Universal *Transversa de Mercator* (UTM) com o *datum* WGS 1984. As fotografias passaram por um processo de mosaico e foram organizadas para que o mapeamento pudesse ser executado. Na Figura 14, pode ser observado o mosaico das fotografias aéreas.

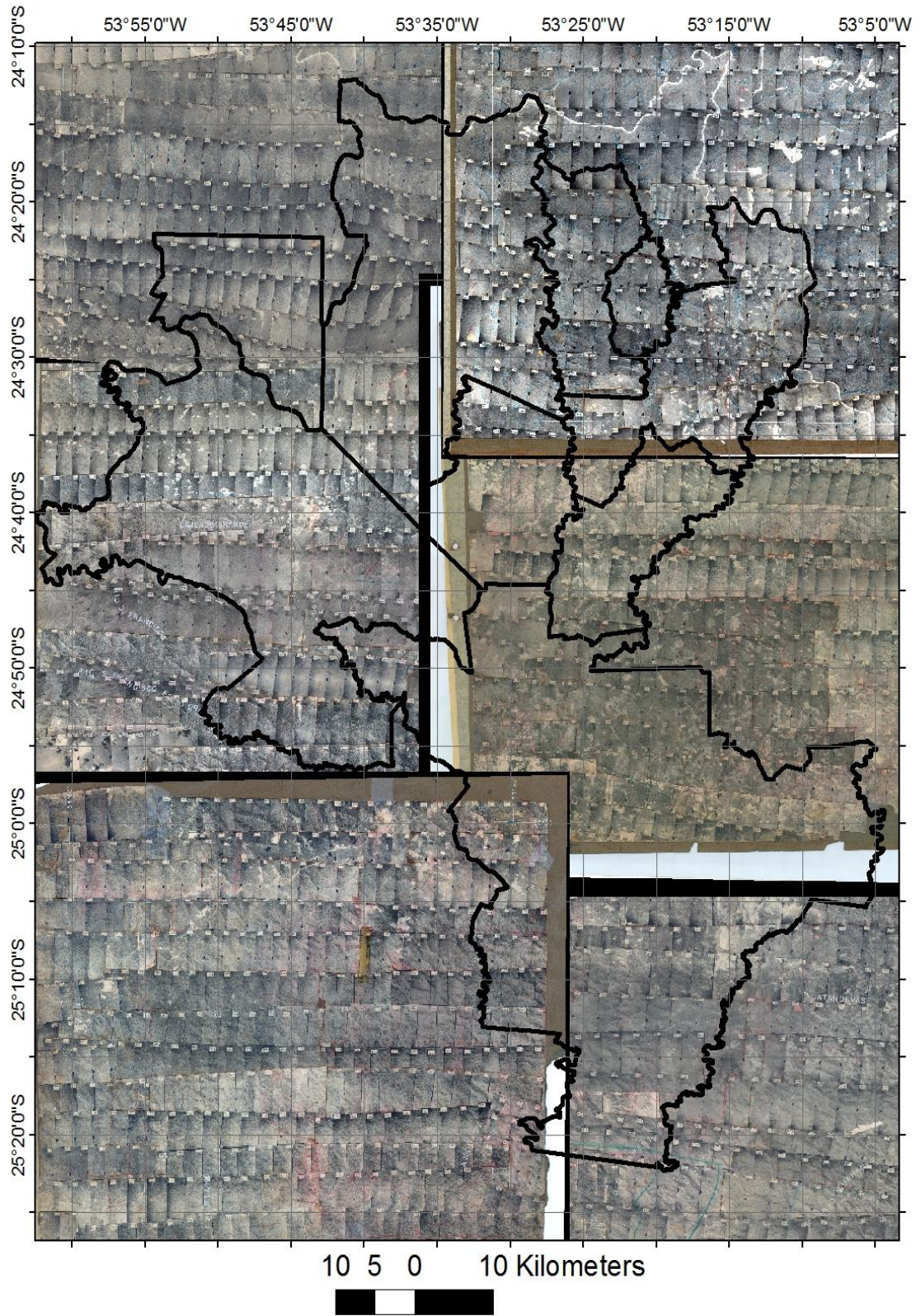


Figura 14 - Mosaico de Fotografias Aéreas do Ano de 1953.  
Elaborado pelo autor, 2015.

#### 4.1.3.2. Imagens orbitais: *Landsat*

Para o mapeamento da soja e da vegetação nos períodos de 1984/1985, 1993/1994, 2004/2005, 2010/2011 e 2013/2014 foram utilizadas várias imagens em diferentes datas dos satélites *Landsat*, a fim de possibilitar a análise temporal do uso e ocupação do solo na região.

Para este trabalho, foram utilizados os produtos dos sensores TM (*Landsat* 5), ETM+ (*Landsat* 7) e OLI (*Landsat* 8) que foram disponibilizadas pela Divisão de Geração de Imagens do INPE. As órbitas/ponto selecionadas para o mapeamento foram a 223-77, 223-78 e 224-77.

A maior parte da área de estudo está localizada na 223-77, por isso, a maioria dos processamentos digitais das imagens foi realizada somente para esta órbita. Assim, foram utilizadas imagens adquiridas em pelo menos dois períodos ao longo do ciclo da cultura para cada safra, as demais imagens pertencentes às outras órbitas/ponto foram utilizadas apenas para a edição manual do mapeamento.

As datas das imagens foram selecionadas admitindo o período em que a cultura da soja já estava consolidada (aproximadamente nos meses de Novembro a Março). Já para o mapeamento da vegetação nativa, além das imagens referentes ao período da safra da soja, também foram selecionadas imagens em outros períodos do ano. Este fato é possível, pois a vegetação nativa permanece no campo durante todo o ano, diferente da soja que apenas estará disponível para a sua identificação espectral no período da safra.

Todas as imagens disponíveis para este estudo passaram por uma seleção, admitindo a cobertura de nuvens que poderiam atrapalhar a execução do mapeamento. No Quadro 3 está a relação de todas as imagens utilizadas para o mapeamento da soja e da vegetação nativa nos períodos selecionados.

<b>Órbita/ponto</b>	<b>223-77</b>	<b>224-77</b>	<b>223-78</b>
<b>Classificação automática e interpretação visual</b>	19/12/1984* 14/07/1985* 12/01/1994* 04/05/1994* 26/01/2005* 27/01/2011** 18/12/2013*** 19/01/2014***	-	-
<b>Interpretação Visual</b>	20/02/1985* 27/12/1993* 25/12/2004* 11/05/2005* 10/12/2010* 08/03/2011** 15/07/2011*	10/01/1985* 25/11/1993* 18/02/2005* 19/02/2010* 11/02/2014***	01/03/1985* 17/12/1993* 26/01/2005* 27/01/2010* 22/12/2013***
	<b>*SENSOR TM</b>	<b>**SENSOR ETM+</b>	<b>***SENSOR OLI</b>

Quadro 3 - Imagens *Landsat* utilizadas no Mapeamento da soja e da vegetação.  
Elaborado pelo autor, 2015.

No preparo das imagens orbitais foi necessário o procedimento de pré-processamento (ver item 2.5.5.1.), dentro desta etapa destaca-se a correção geométrica e o registro das imagens selecionadas. Este procedimento foi executado com o uso do Arcgis 10, utilizando ferramentas específicas que possibilitem a correção das distorções nas imagens.

Além da base cartográfica já citada, foram utilizadas também, para o procedimento de registro, imagens base para a correção geométrica, as GEOCOVER e as *Global Land Surveys* (GLS) obtidas por meio do *Global Land Cover Facility* (GLCF), que são imagens das órbitas/ponto selecionadas já corrigidas geometricamente disponibilizadas pela NASA. A projeção utilizada, tanto da GEOCOVER E GLS quanto da *Landsat* é a UTM com o *datum* WGS1984, em escala 1:50.000.

Para este mapeamento, foram selecionadas três bandas dos satélites, que correspondem às bandas do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio. A composição utilizada para a visualização da cultura agrícola foi a RGB-453

(falsa-cor) para as imagens dos satélites *Landsat 5* e *7* e RGB-564 (falsa-cor) para o *Landsat 8*. Esta composição permite, dentro desta metodologia aplicada, uma melhor visualização da resposta espectral da vegetação.

É importante destacar que para a melhor visualização da imagem para o mapeamento, após a composição de bandas, é necessário que se realize um realce das imagens digitais por manipulação de histogramas. Este procedimento tem o objetivo de melhorar a qualidade visual da imagem, potencializando o contraste entre os elementos presentes na mesma. Para este trabalho, foi utilizada a manipulação linear de histograma tanto no SPRING quanto no Arcgis para que se ocorra uma melhor visualização, permitindo uma boa interpretação das imagens orbitais.

#### **4.1.4. Dados estatísticos**

Para a análise deste estudo, foram utilizados dados estatísticos de alguns órgãos oficiais referentes ao ciclo produtivo da soja na área de estudo. Para isto, foram utilizados dados da SIDRA-IBGE, disponíveis no site <http://www.sidra.ibge.gov.br> e no site da CONAB <http://www.conab.gov.br>. Também foram utilizados dados do Censo Agropecuário referente ao período aqui estudado, que são divulgados periodicamente pelo IBGE.

## **4.2. Procedimentos metodológicos**

Para este trabalho, foi abordada uma visão sistêmica que permite utilizar como base metodológica a Teoria Geral dos Sistemas. Segundo Bertalanffy (1977), a Teoria Geral dos Sistemas tem como objetivo formular princípios válidos para sistemas em geral, qualquer que seja a natureza dos elementos que a compõem e as relações ou forças existentes entre eles. Ainda segundo este mesmo autor, este sistema é um conjunto de unidades que se interrelaciona, com entrada e saída de energia que compõem um todo, a organização se dá pela interrelação. Considerando esta visão, que permite a análise das relações de interdependência entre os sistemas, os procedimentos utilizados neste trabalho podem ser visualizados sinoticamente conforme indicado na Figura 15.

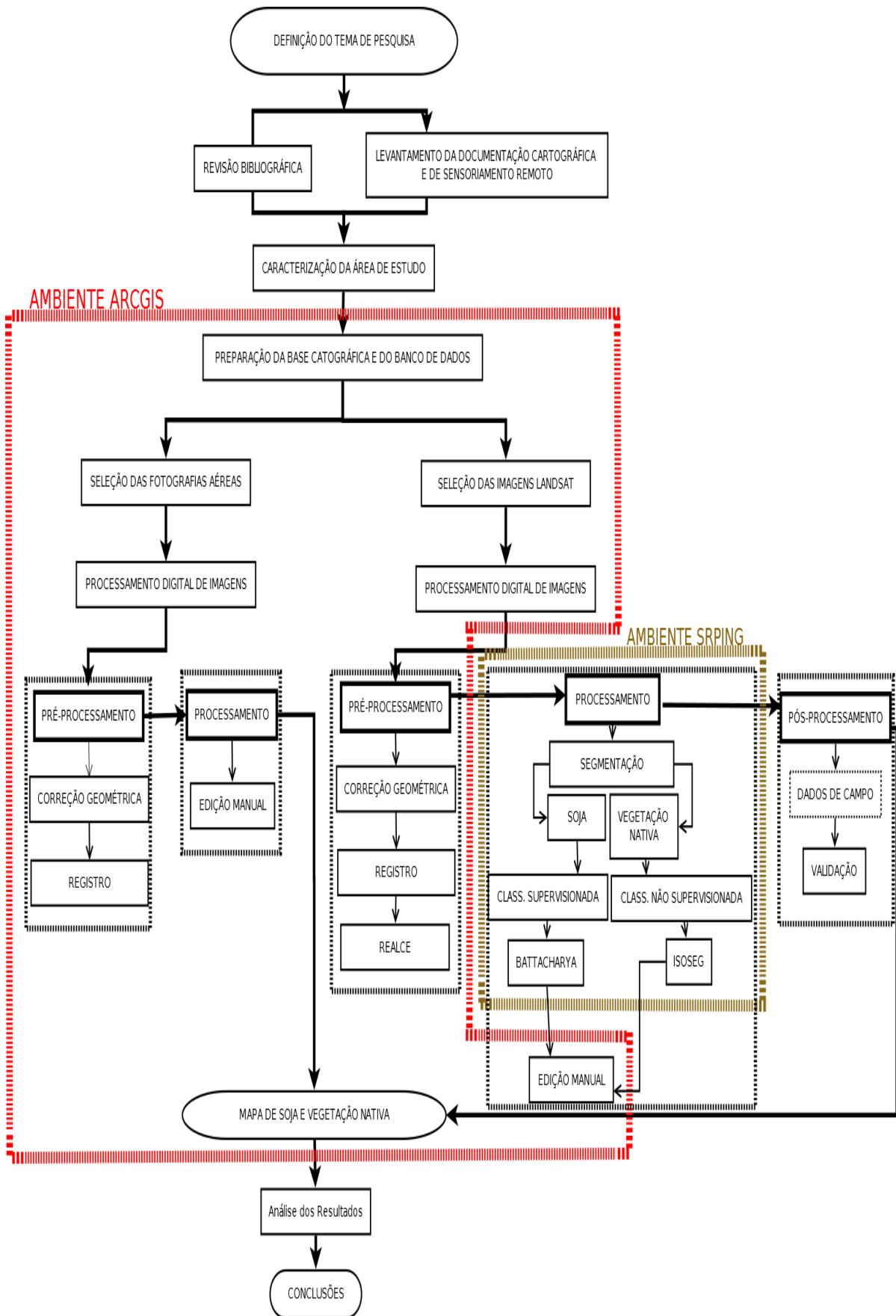


Figura 16 - Fluxograma indicando as fases do trabalho. Elaborado pelo autor, 2015.

#### **4.2.1. Banco de Dados**

Para o início das atividades, foi criado um banco de dados georreferenciados, nos *softwares* utilizados, para a elaboração dos mapas deste trabalho. Neste banco de dados foram imputadas as bases cartográficas digitalizadas que foram cedidas pelo ITCG do Paraná abrangendo um mosaico que confere a todo o Estado. Estes dados serviram de base para a inicialização do mapeamento da área de estudo, permitindo a seleção e correção das imagens orbitais e fotografias aéreas para o mapeamento da soja e da vegetação nativa.

As imagens e as fotografias aéreas utilizadas foram importadas tanto para SPRING quanto para o Arcgis através do módulo de importação dos *softwares* de mapeamento para posteriormente serem georreferenciadas utilizando a base cartográfica e as imagens base já citadas.

Os dados oficiais de área, produção e produtividade de soja foram adquiridos pelo SIDRA-IBGE além dos dados do Censo Agropecuário todos disponíveis no endereço eletrônico do IBGE.

#### **4.2.2. Mapeamento da cobertura vegetal nativa**

Para o mapeamento da vegetação nativa foi necessária à execução de dois tipos de procedimentos: a interpretação das fotografias aéreas e o processamento digital das imagens orbitais, ambos serão descritos a seguir.

Para o ano de 1953, as imagens orbitais não estavam disponíveis, por isso a necessidade das fotografias aéreas. Deste modo, as fotografias foram necessárias para o mapeamento da área de estudo permitindo identificar a origem da vegetação nativa na região. Isso fez com que o alvo desejado fosse identificado antes da intensa exploração agrícola que a região sofreu nos anos seguintes.

Para este mapeamento, foi possível somente uma interpretação visual da vegetação, sendo este procedimento totalmente manual. Nesta etapa, o mapeamento precisou ser realizado pelo processo de edição manual no *software* Arcgis que consiste na classificação manual de toda a área de estudo. Este procedimento foi realizado através de ferramenta específica, onde todos os polígonos referentes à vegetação foram editados separadamente.

Já para o mapeamento da vegetação nativa, através das imagens orbitais, foram utilizados os métodos de classificação automática e visual de imagens adquiridas pelos sensores.

Anterior ao processo de classificação automática foi necessário realizar a segmentação das imagens orbitais. O Processo de segmentação consiste no agrupamento de informações presentes nas imagens de forma não supervisionada através da escolha de limiares de área e similaridade. Para isso, foi utilizado o SPRING através do algoritmo denominado “crescimento de regiões” com limiares de área e similaridade. Este procedimento foi repetido por muitas vezes, com vários testes de valores de área e similaridade em todas as imagens selecionadas, até notar que boa parte dos polígonos criados pôde ser aproveitada para a classificação. Para este procedimento foi utilizado as bandas 3, 4 e 5 dos sensores TM, ETM+ do *Landsat 5* e 7 e as bandas 4, 5 e 6 para o sensor OLI do *Landsat 8*.

Após a segmentação, ainda no SPRING, foi realizada o classificação automática pelo algoritmo denominado ISOSEG com o limiar de aceitação de 95%. Este classificador consiste no uso de um algoritmo para a classificação de regiões em uma imagem orbital de forma não supervisionada. Após a execução do algoritmo, foi realizado o remapeamento das classes, onde cada classe identificada foi então associada com as respectivas classes temáticas finais: “vegetação nativa” e “não vegetação nativa”.

Após o processo de classificação automática, os mapas passaram pelo procedimento de edição manual, através do *software* Arcgis, para corrigir os erros de omissão ou inclusão que o classificador pode ter cometido. No caso da vegetação nativa, a assinatura espectral não apresenta grandes variações no mesmo ano, permitindo o uso de imagens em diversos períodos. Isso permite que a edição manual do mapeamento seja realizada em todos os anos selecionados.

#### **4.2.3. Mapeamento da soja**

Para o mapeamento da soja referente aos períodos abordados neste estudo, utilizou-se os métodos de classificação automática e visual de imagens adquiridas pelos sensores. Para isto, foi realizada a classificação pela metodologia de uma classificação supervisionada.

Anterior a classificação, as imagens passaram por um novo processo de



segmentação por crescimento de regiões pelo *software* SPRING. A repetição deste procedimento, com novos dados de área e similaridade, foi necessária já que as áreas que se observa a vegetação nativa não puderam ser aproveitadas para o mapa da soja. Para este procedimento também foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5 dos sensores TM, ETM+ do *Landsat 5* e 7 e as bandas 4, 5 e 6 para o sensor OLI do *Landsat 8*.

Após o procedimento de segmentação as imagens foram submetidas ao processo de classificação supervisionada denominada Bhattacharya que consiste num método onde o usuário seleciona áreas de interesse através do treinamento tendo como suporte o resultado da segmentação. Neste caso, foram realizados os treinamentos com aquisição de amostras das classes pré-determinadas para a classificação supervisionada. Neste estudo, em cada etapa de classificação utilizou-se duas classes de regiões, uma sendo “soja”, e outra como “não soja”. A primeira agrupa todas as áreas onde a soja pode ser identificada na imagem e a segunda engloba áreas como rios, malha urbana ou outras culturas agrícolas, enfim, todas as demais áreas da imagem onde não se observa a resposta espectral desejada.

A aplicação do classificador Bhattacharya também foi executada pelo *software* SPRING, utilizando um limiar de aceitação de 95% em todas as imagens.

Após o resultado da classificação automática, foi realizada a edição manual do mapa para identificar as áreas onde o classificador omitiu ou mapeou de forma incorreta as áreas de soja. Para esta etapa, foi utilizado o *software* Arcgis 10.

No caso de culturas agrícolas, é importante que o responsável pelo mapeamento manual possua algum conhecimento sobre as características agronômicas da soja, para que os erros e confusões causados pelo classificador automático sejam identificados. É necessário que o responsável por esta etapa possua algum conhecimento de determinadas características da cultura a ser mapeada. Neste caso, por exemplo, é necessário que se obtenha o conhecimento referente o período de plantio, o desenvolvimento e colheita da soja, o clima favorável para o cultivo, as condições de solo específicas, os locais onde a oleaginosa costuma ser semeada e muitos outros fatores importantes para o desenvolvimento agrícola da cultura.

Todas essas informações são importantes para que o mapeamento seja realizado com maior precisão, pois é possível que algumas outras respostas espectrais presentes na imagem possam se assemelhar a soja, podendo

comprometer a confiabilidade do resultado da classificação automática e, por conseguinte a qualidade do mapeamento.

#### **4.2.4. Verificação da exatidão cartográfica do mapeamento**

A validação da exatidão cartográfica pôde ser executada somente no mapa do período de 2013/2014, tanto para a soja quanto para a vegetação nativa. Isto ocorreu pela baixa disponibilidade de dados reais de campo que só puderam ser utilizados no mapeamento deste último período analisado neste estudo. Nos demais anos analisados, dentro da área de estudo, não existem dados de uso e ocupação do solo que poderiam ser utilizados para a verificação da exatidão cartográfica do mapeamento.

Para a validação do mapeamento executado foi utilizado o método Ginevan aplicado por Valeriano (1985), ver item 2.6. Para a aplicação deste método, utilizam-se tabelas elaboradas por Ginevan (1979) a fim de determinar o número mínimo de amostras. De acordo com Ginevan (1979 *apud* Martínez, 2001), para a utilização destas tabelas, deve-se estabelecer um valor de qualidade do mapa considerado baixo (Q2) e definir qual será o risco de o usuário receber um produto com exatidão inferior a “Q2”. Após isso, é considerado um valor de exatidão relativamente alto (Q1) e determina-se o risco do produtor ( $\alpha$ ), que representa a probabilidade de o produtor ter o seu mapa rejeitado com uma exatidão entre “Q2” e “Q1”. Este valor “ $\alpha$ ” é determinado em função da confiança que o produtor tem em relação ao seu mapa. Com estes valores definidos e com auxílio das tabelas de Ginevan, determinam-se os valores de “N”, sendo o número máximo de erros de classificação “X”. Após as definições destas variáveis, determinam os valores de exatidão do mapeamento.

Na Tabela 4 verifica-se os dados referentes à quantidade de pontos amostrais para cada situação desejada conforme trabalhado por Valeriano (1985).

Nesta tabela “N” significa o valor total das amostras, “Q1” como o valor de exatidão do mapeamento, “Q2” o valor de exatidão mínima do mapeamento, “X” a quantidade de pontos classificados de forma incorreta, “ $\alpha$ ” como valor do risco do consumidor receber um mapa de baixa qualidade e “ $\beta$ ” sendo o risco do produtor ter que refazê-lo.

Tabela 4 - Tabela de Ginevan para  $Q2 = 0,85$ ;  $\beta = 0,05$ . Fornece os valores ótimos de N e de X.

N	X	$\beta = 0,05 ; Q2 = 0,85$		
		VALORES DE $\alpha$		
		Q1=0,90	Q1=0,95	Q1=0,99
19	0	0,8646	0,6226	0,1738
30	1	0,8163	0,4465	0,0361
40	2	0,7772	0,3233	0,0075
50	3	0,7497	0,2396	0,0016
59	4	0,7152	0,1719	0,0003
68	5	0,6859	0,1242	0,0001
76	6	0,6427	0,0856	0
85	7	0,6247	0,0624	0
93	8	0,5919	0,0432	0
102	9	0,5746	0,0318	0
110	10	0,5464	0,0221	0
118	11	0,5203	0,0153	0
126	12	0,4959	0,0107	0
134	13	0,4731	0,0074	0
142	14	0,4518	0,0052	0
150	15	0,4318	0,0036	0
158	16	0,413	0,0025	0
166	17	0,3954	0,0018	0
174	18	0,3787	0,0012	0
182	19	0,363	0,0009	0
190	20	0,3481	0,0006	0
197	21	0,3252	0,0004	0
205	22	0,3122	0,0003	0
213	23	0,2998	0,0002	0
220	24	0,2802	0,0001	0
228	25	0,2693	0,0001	0
236	26	0,2589	0,0001	0
243	27	0,2421	0	0
251	28	0,2329	0	0
259	29	0,2242	0	0
266	30	0,2097	0	0
274	31	0,202	0	0
281	32	0,189	0	0
289	33	0,1821	0	0
296	34	0,1704	0	0
304	35	0,1643	0	0

Fonte: Adaptada de Valeriano (1985) e Ginevan (1979).

Para o presente trabalho, a verificação do mapeamento de soja e vegetação nativa do período de 2013/2014, foi utilizado o valor de  $N=110$ , onde  $Q2=0,85$ ,  $Q1=0,90$ ,  $\alpha=0,05$  e  $\beta=0,5464$ . A opção em adotar um risco relativamente alto ao produtor justifica-se pela escassez de dados de campo referentes a uma área bastante extensa abordada neste trabalho.

De acordo com Pilachevsky (2013), a partir da definição dos parâmetros, a verificação do mapeamento pode ser realizada através da expressão:

$$P = 1 - X/N$$

Nesta expressão, “P” é a exatidão do mapa, “X” é a quantidade de pontos classificados erroneamente e “N” é o tamanho da amostra.

Para a verificação da exatidão do mapeamento, a escolha dos pontos amostrais ocorreu de forma aleatória. Para a verificação das áreas de soja, os pontos foram coletados através de dados de campo por pontos de localização geográfica fornecidos por produtores de soja distribuídos pela área de estudo. Os pontos de localização foram dados de latitude e longitude referentes à localização de alguns talhões de soja.

Em algumas localidades referentes à vegetação nativa e também para áreas não mapeadas como malha urbana, rios e outros alvos, foi utilizada imagens de alta resolução espacial do sistema IKONOS II do ano de 2014 disponíveis no aplicativo *Google Earth*, como suporte para a verificação do mapeamento.

Após estes procedimentos pôde-se chegar aos valores que permitiram a verificação da validação do mapeamento executado por este estudo e de todo seu método empregado.

#### **4.2.5. Quantificação das áreas mapeadas**

Após o mapeamento, foi realizada a quantificação da área total de soja e vegetação mapeada nos municípios selecionados. Para esta parte do trabalho, foi utilizado o *software* Arcgis através da ferramenta específica de cálculo de área, a fim de se chegar a um valor métrico total. Todas as áreas foram calculadas em hectares, acompanhando a mesma unidade utilizada pelo IBGE.

O resultado da quantificação da área mapeada foi comparado com os dados

oficiais do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), que faz o levantamento municipal da área total semeada de todo o país, e neste caso de estudo, para os municípios selecionados no Estado do Paraná. Também foi utilizado o Censo Agropecuário também realizado pelo IBGE, dos respectivos anos aqui abordados.

É importante destacar que os dados oficiais dos órgãos governamentais (bases das estatísticas de área plantada de soja), podem não apresentar a real área total produzida, por se tratar de uma metodologia baseada em questionários de produtores e/ou entidades relacionadas à produção agrícola de cada município. Os dados oficiais “são estimados em função da produção contabilizada em cada município e de sua área plantada, subjetivamente estimada por ocasião da semeadura da cultura” (RIZZI, 2004, p. 34). Assim, qualquer falha nessas estimativas implicaria na distorção da realidade dos dados obtidos.

Já os dados de área de vegetação nativa no Paraná são bastante escassos, principalmente quando se trata de valores municipais, não sendo possível a comparação neste nível de detalhe.

## CAPÍTULO 5

### 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.1. Mapa da vegetação nativa por meio das fotografias aéreas

Como já citado, as fotografias aéreas foram adquiridas por meio impresso e precisaram ser submetidas ao processo de digitalização e pré-processamento para que o mapeamento fosse executado. O mapeamento foi editado manualmente, pois a classificação automática não pôde ser realizada. As fotografias aéreas foram usadas apenas para mapear a vegetação nativa, pois a soja ainda não era semeada na área referente ao estudo. Naquele período, e a exploração agrícola ainda não era intensa.

É importante ressaltar que as imagens se encontram com uma série de falhas em função da degradação que sofreram com o tempo, por esse motivo, o mapeamento foi executado levando em consideração as limitações das fotografias. Este fato comprometeu o resultado final do mapeamento, contudo este mapa tem o intuito de servir apenas como base para o uso e ocupação da área durante a década de 1950.

Ao observar as fotografias, é possível destacar que existe pouca diversificação no uso e ocupação da área, percebe-se assim que a maior parte dos municípios estudados é coberta pela vegetação nativa. A cobertura vegetal presente na área de estudo, que conforme a bibliografia consultada se concentra nas espécies referentes a Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica) e Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Fluvial Subcaducifólia) foram identificadas nas fotografias aéreas. Assim, o mapeamento manual da vegetação nativa pôde ser efetuado abrangendo boa parte da área total, com exceção de algumas localidades desmatadas por exploração madeireira, pequenas atividades agrícolas e demais

##### 5.1.1. Cenário 1953

Considerando a metodologia em que o mapa de 1953 foi submetido, este produto servirá como base para a comparação de área de vegetação ao longo dos demais períodos analisados. Na figura 16 consta o mapa temático da vegetação nativa, identificada a partir da edição manual das fotografias aéreas nos municípios compreendidos pelo estudo.

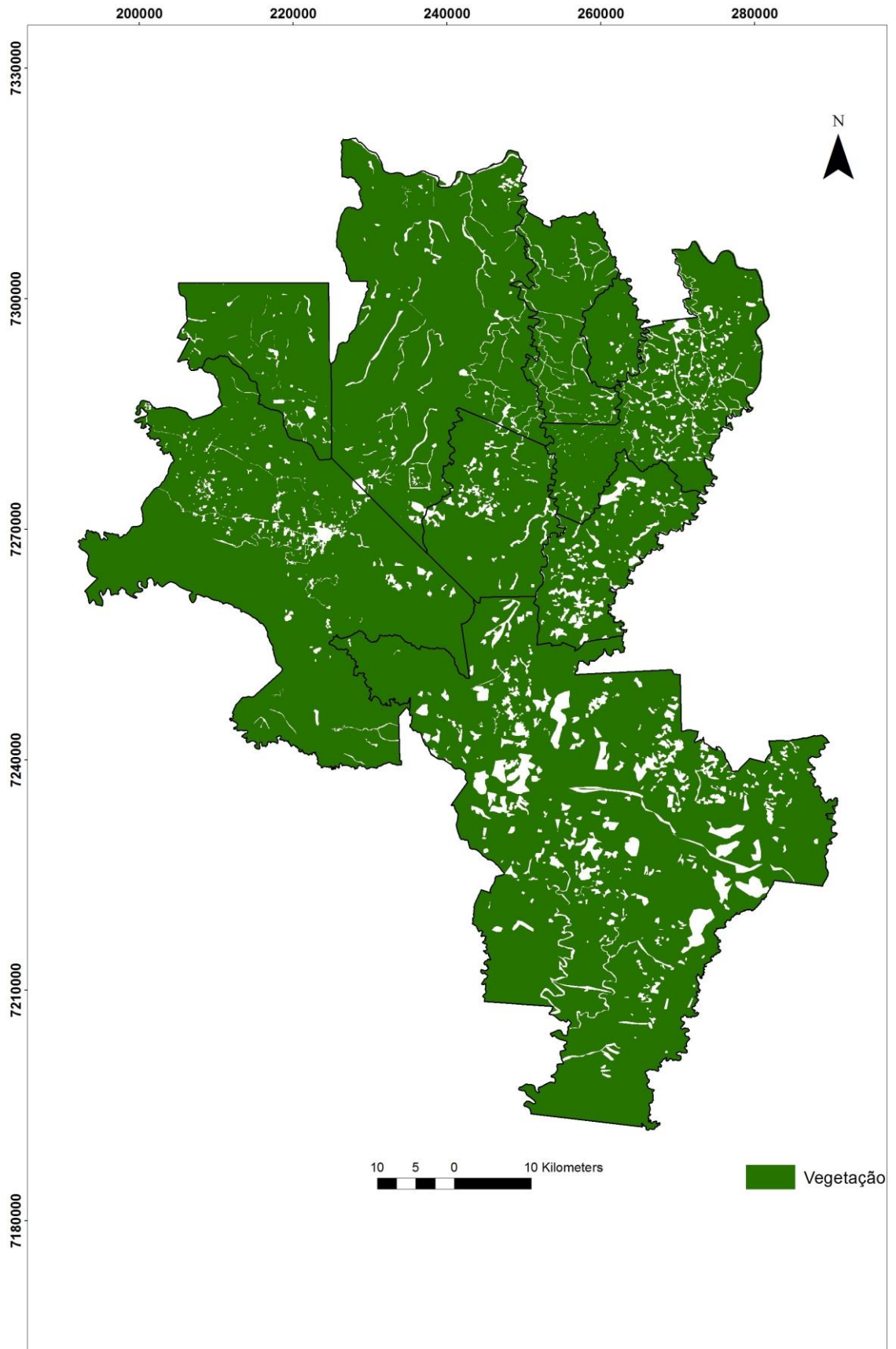


Figura 16 - Mapeamento da vegetação nativa do ano de 1953.  
Elaborado pelo autor, 2015.

O mapeamento possibilitou a quantificação dos valores de área de vegetação nativa nos municípios compreendidos. A Tabela 5 apresenta a área total mapeada no período de 1953 referentes à vegetação nativa através da interpretação das fotografias aéreas. Também pode-se observar outras formas de uso e ocupação da área, que representa as regiões onde não estão os alvos desejados para esta pesquisa sendo elas a malha urbana, corpos de água e demais alvos.

Tabela 5 – Área total em hectares de vegetação nativa do mapeamento no período de 1953.

<b>Município</b>	<b>Área vegetação nativa</b>	<b>Demais formas de uso</b>
Assis Chateaubriand	91884,95	4822,00
Cafelândia	23279,28	3889,97
Cascavel	185671,08	23601,00
Iracema do Oeste	8074,30	175,98
Jesuítas	23484,02	1453,93
Maripá	27658,23	1076,03
Nova Aurora	45200,14	2044,97
Toledo	115526,12	4467,62
Tupãssi	28865,79	2254,87
<b>Total</b>	<b>549643,90</b>	<b>43786,37</b>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Em nível municipal, os dados de vegetação apresentam-se bastante elevados em função da localidade ter sido pouco explorada na década de 1950. A área total de vegetação mapeada para esse período foi de 549.643,90 hectares.

Deste modo, nota-se que os dados de área de cobertura vegetal nativa estão próximos dos de área total do município. Este fato comprova que o Oeste paranaense apresentava pouca exploração neste período, permitindo assim, que a vegetação nativa fosse predominante em toda área aqui estudada.

## **5.2. Mapa de cobertura vegetal por meio das Imagens *Landsat***

O mapeamento da soja e da vegetação nativa, utilizando a classificação das imagens *Landsat*, passou por uma série de processos, onde seus resultados serão analisados individualmente.



A primeira etapa analisada foi a composição de cores utilizada para a identificação da assinatura espectral tanto da soja quanto da vegetação nativa nas imagens orbitais. A composição, como já citada, foi a RGB-453 (falsa-cor) para as imagens *Landsat 5 e 7* e RGB-564 (falsa-cor) para o *Landsat 8*.

Na Figura 17, pode ser observado um mosaico das órbitas/ponto selecionadas com o recorte da área de trabalho. É possível identificar a assinatura espectral da cultura da soja e da vegetação nativa através da composição citada e do realce pela manipulação do histograma efetuado.

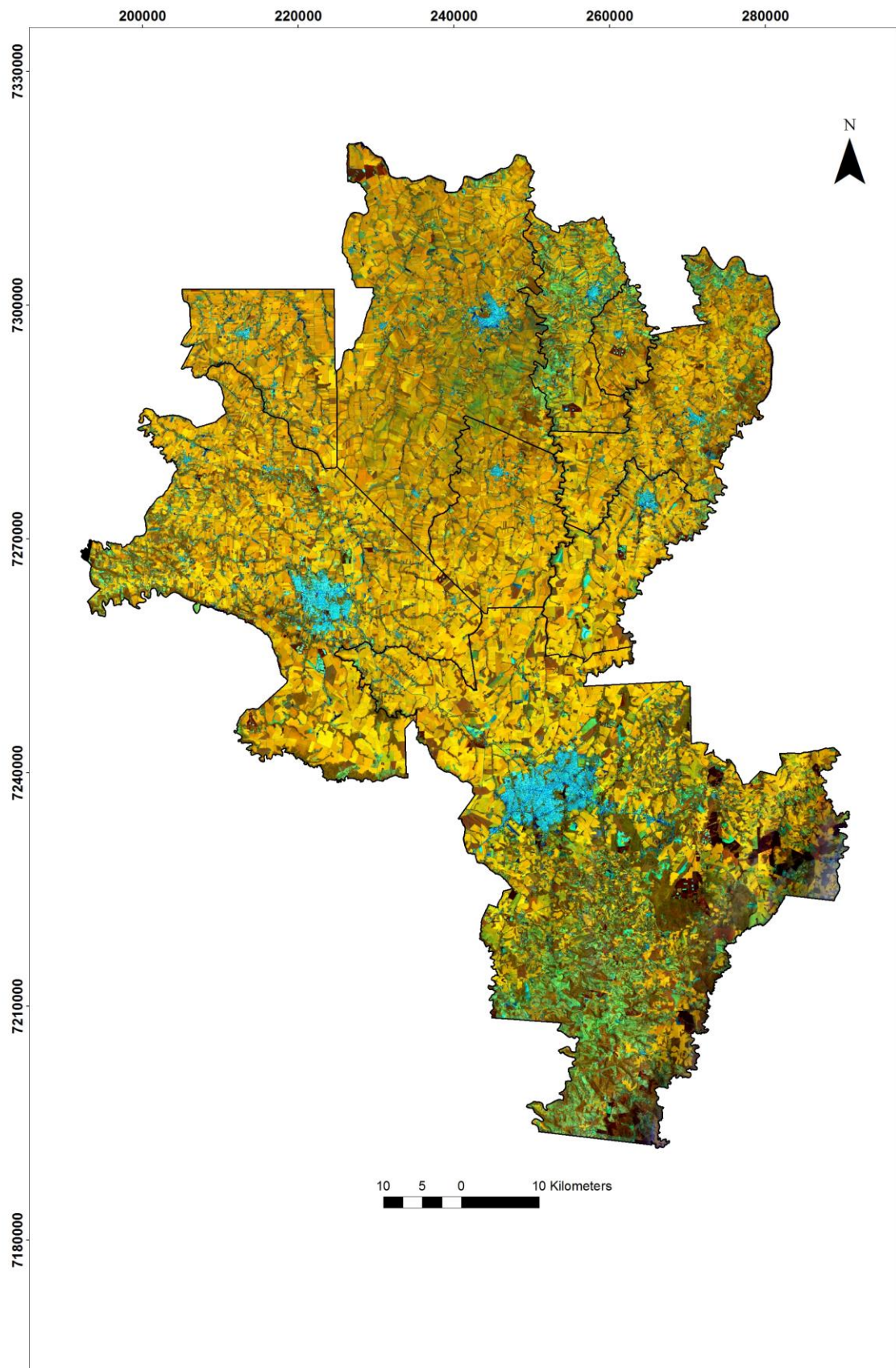


Figura 17 – Mosaico de Imagens *Landsat* 8 de Dezembro de 2013, na composição RGB-564 (falsacor).

Elaborado pelo autor, 2015.

Através da análise interpretativa das imagens, foi possível identificar a assinatura espectral tanto da soja quanto da vegetação nativa. No caso da soja, esta composição faz com que esta cultura apresente uma coloração amarelada, isto quando a planta está em bom estado vegetativo, a coloração amarelada da soja nas imagens orbitais pode ser identificada através da composição de cores utilizada neste estudo em função da diferença do comportamento espectral da cultura em relação aos demais alvos presentes na cena. Esta diferenciação ocorre devido às características intrínsecas à cultura e também à própria área em estudo (RIZZI, 2004).

Em relação a assinatura espectral da soja, a coloração amarelada na composição já citada refere-se a alta reflexão do alvo na faixa referente a banda do infravermelho próximo e o relativo aumento da reflexão do mesmo na banda do infravermelho médio. Sanches et al (2005), conclui que neste caso, a banda do infravermelho próximo é atribuída a cor vermelha e a cor verde representa a banda do infravermelho médio. Como a junção do vermelho com o verde gera a coloração amarelada, quanto maior a reflectância das bandas mencionadas, mais amarelada será a cor resultante.

Vale aqui ressaltar que a soja só pode ser visualizada nas imagens orbitais quando a planta já está em pleno desenvolvimento vegetativo. Este período, dentro da área estudada, acontece aproximadamente no final de Dezembro até o início de Março. Com isso, os períodos durante e logo após a semeadura, não podem ser visualizados nas imagens orbitais.

Na Figura 18, nota-se que a totalidade da área onde a cultura foi semeada já pode ser detectada pelas imagens orbitais nas datas de 14 de Janeiro e 03 de Março de 2011. Nestas imagens, observa-se a coloração amarelada da soja, tornando o mapeamento possível.

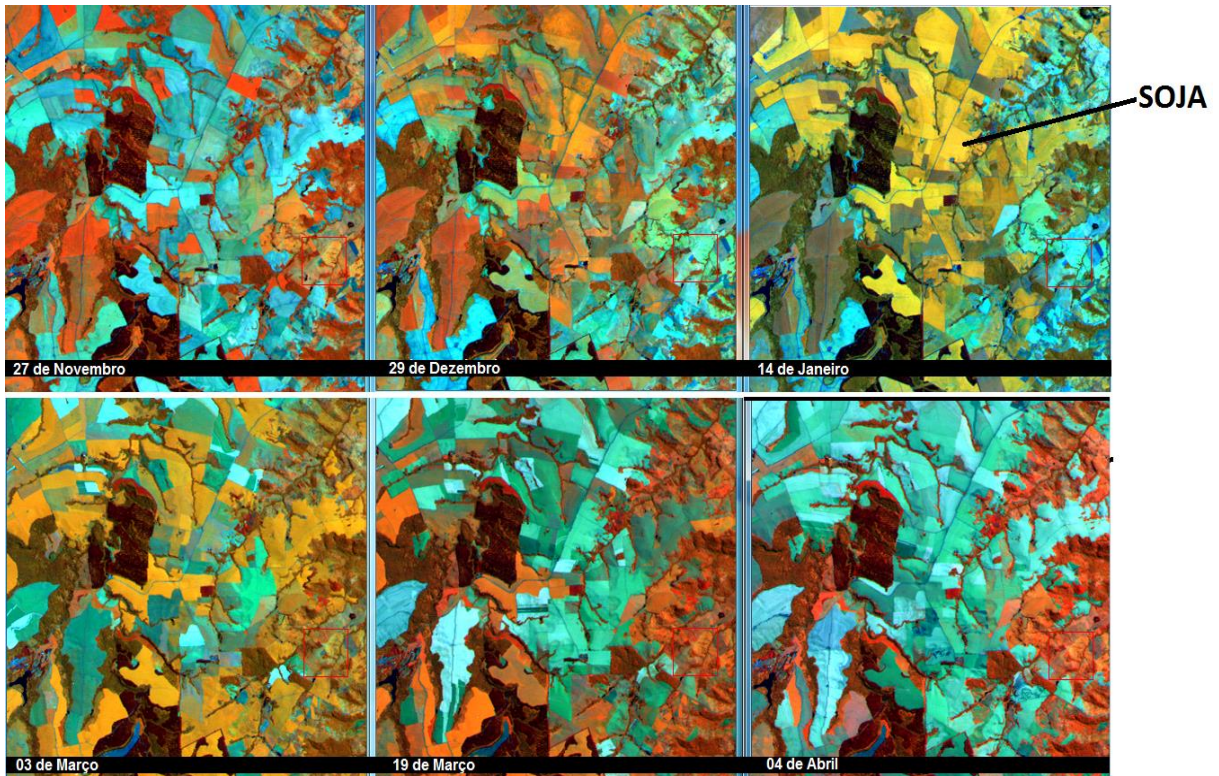


Figura 18 - Características da resposta espectral da soja em Imagens *Landsat 5* do período de Novembro de 2010 a Abril de 2011 na composição RGB-453 (falsa-cor).  
Elaborado pelo autor, 2015.

Já para a vegetação nativa, esta composição de cores faz com que a identificação na imagem orbital, ocorra pela coloração avermelhada e pelas diferenças de texturas na imagem.

A Figura 19 possibilita a visualização da assinatura espectral da vegetação na composição de cores já citada. É importante destacar que a vegetação nativa não apresenta diferenciação em sua característica espectral durante todo o período analisado, por esse motivo, a disponibilidade de imagens para o mapeamento é maior do que em relação à soja.

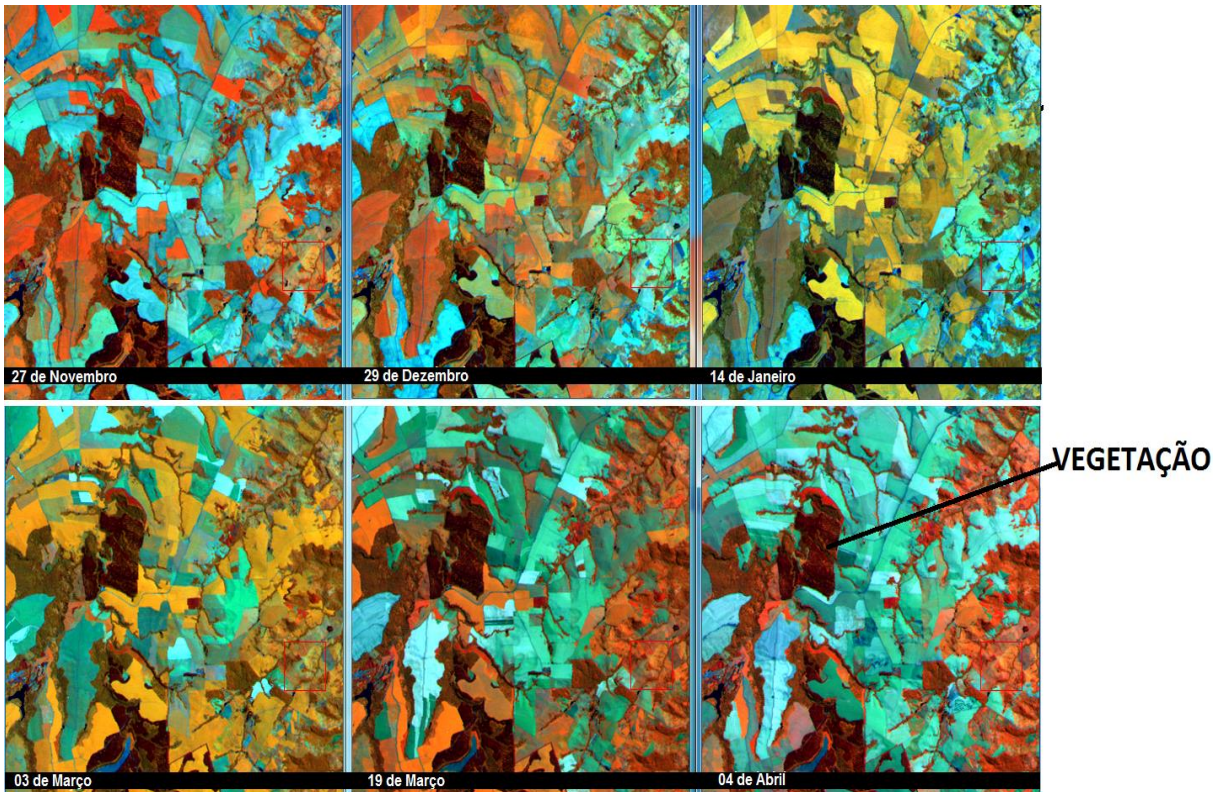


Figura 19 - Características da resposta espectral da vegetação nativa em Imagens *Landsat 5* do período de Novembro de 2010 a Abril de 2011 na composição RGB-453 (falsa-cor).  
Elaborado pelo autor, 2015.

Na etapa de segmentação, as imagens tiveram que ser submetidas a processos separados. Para o mapeamento da soja foram utilizados limiares de área e similaridade diferentes da vegetação nativa, pois as áreas onde foram identificadas as assinaturas espectrais de ambos os alvos apresentam tamanhos diferentes. Para a vegetação nativa, em sua maioria, as áreas são bem menores que os talhões destinados à cultura da soja. Desta forma, a diferença do tamanho das áreas ocasionou na distinção dos dados de similaridade e área utilizados no processo de segmentação.

Os valores de área e similaridade para cada imagem processada na etapa de segmentação podem ser observados na Tabela 6, tanto para o mapeamento da soja quanto da vegetação nativa.

Tabela 6 – Relação de valores de área e similaridade no processo de segmentação para o mapeamento da soja e da vegetação nativa.

Data da imagem	Valor de Área	Valor de Similaridade	Mapeamento vegetação/soja
14/07/1985*	15	5	Vegetação nativa
19/12/1984*	30	5	Soja
04/05/1994*	15	5	Vegetação nativa
12/01/1994*	30	5	Soja
26/01/2005*	10	5	Vegetação nativa
26/01/2005*	15	5	Soja
27/01/2010**	15	5	Vegetação nativa
27/01/2010**	30	10	Soja
19/01/2014***	15	5	Vegetação nativa
18/12/2013***	30	5	Soja

\*SENSOR TM

\*\*SENSOR ETM+

\*\*\*SENSOR OLI

Elaborado pelo autor, 2015.

No geral, para a segmentação das imagens orbitais, o algoritmo escolhido, os limiares de área e similaridade e as bandas utilizadas para este processo se mostraram satisfatórios. As regiões apresentadas pela etapa de segmentação foram primordiais para o processo de classificação das imagens *Landsat* em todos os mapeamentos executados.

Quanto a classificação digital, tanto o algoritmo *Battacharya*, utilizado no mapeamento da soja, quanto o *ISOSEG*, para o mapeamento da vegetação nativa, também se mostraram satisfatórios para a identificação das assinaturas espectrais da soja e da vegetação nativa, respectivamente. Contudo, ocorreram alguns equívocos onde em algumas áreas, os algoritmos dos classificadores confundiram a soja e a vegetação nativa com outros alvos presentes na área de estudo, ou não mapearam algumas áreas onde os alvos desejados estavam presentes. Estes erros de omissão e inclusão foram detectados em todos os períodos de mapeamento executados. Alguns exemplos podem ser observados na Figura 20, onde nota-se falhas de inclusão e na Figura 21 onde pode se observar os erros de omissão nos classificadores utilizados.

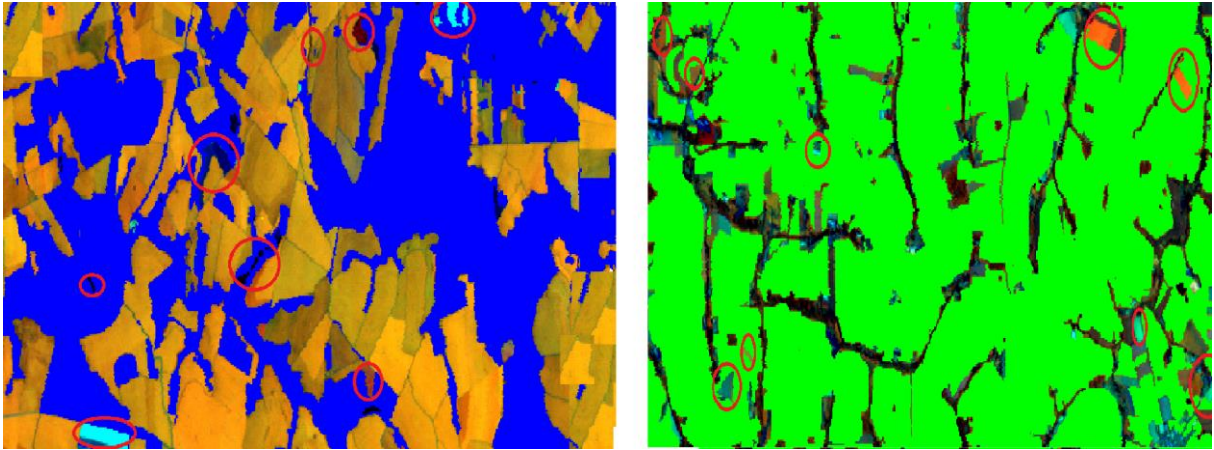


Figura 20 – Classe temática “não soja” (azul) e “não vegetação nativa” (verde), sobreposta à imagem *Landsat 5*. Composição colorida RGB-453 (falsa-cor) e os erros da classificação por inclusão. Elaborado pelo autor, 2015.

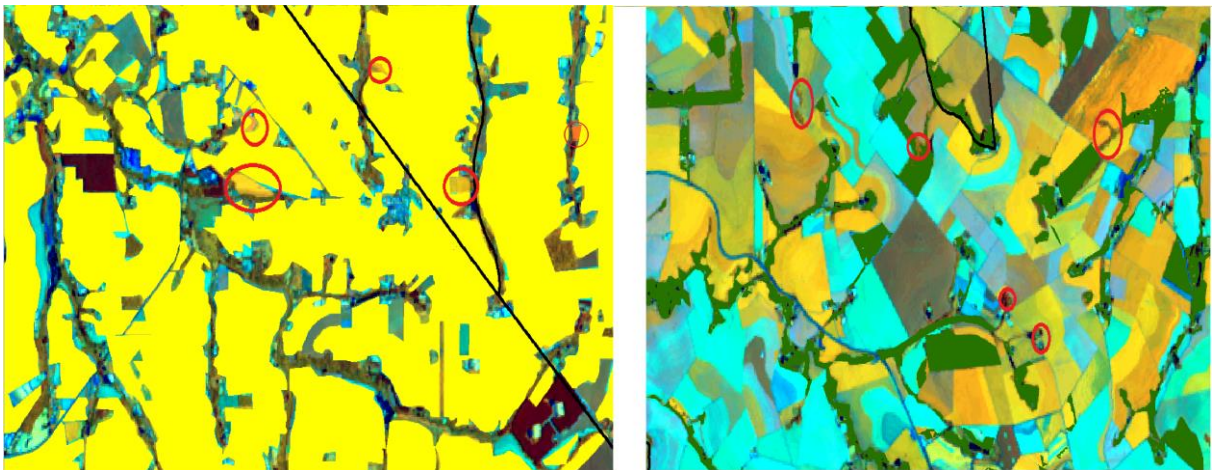


Figura 21 – Classe temática “soja” (amarelo) e “vegetação nativa” (verde), sobreposta à imagem *Landsat 5*. Composição colorida RGB-453 (falsa-cor) e os erros da classificação por omissão. Elaborado pelo autor, 2015.

Nestas imagens torna-se possível observar as falhas que ocorreram durante a classificação automática, falhas estas que devido as respostas espectrais dos alvos não desejados, confundem-se com as áreas que se encontram a cultura da soja e a cobertura vegetal nativa.

Também se podem observar áreas classificadas como soja ou vegetação nativa, que na realidade não deveriam ser mapeadas por se tratar de outros alvos como solo exposto, rios, malha urbana e outras culturas agrícolas.

Após o processo de classificação automática, a edição manual pode ser realizada através da interpretação visual das imagens orbitais. Os erros de omissão e inclusão puderam ser corrigidos em todos os mapas, em todos os períodos.

Outra particularidade encontrada e que precisou ser considerada durante o processo de edição manual, foi que em alguns casos, a coloração amarelada dos

pixels referentes à soja, pôde ser identificada em algum estágio específico de outra cultura. Um exemplo é o milho, cultura também semeada na área de estudo, que pode ter a sua assinatura espectral confundida com a da soja em algum período do seu estágio fenológico. Nas imagens orbitais analisadas, o milho apresenta uma coloração avermelhada quando a planta se encontra em avançado estado vegetativo, afirma Mercante (2007), diferente da soja durante o período final do seu desenvolvimento.

Em alguns casos observados nesta pesquisa, a assinatura espectral do milho pode apresentar cor semelhante ao amarelo observado na cultura de soja no período logo após a semeadura. Neste caso, a análise temporal de várias imagens em diferentes períodos, poderia identificar que aquele amarelado inicial, presente no milho, tende a mudar de cor na medida em que o tempo vai passando, caracterizando aquela região como uma cultura de milho e não de soja. No geral, as diferenças no calendário agrícola permitem diferenciar estas duas culturas. Na Figura 22, pode ser observada o comportamento espectral da cultura do milho em duas imagens do *Landsat 5* na composição RGB-453 (falsa-cor).

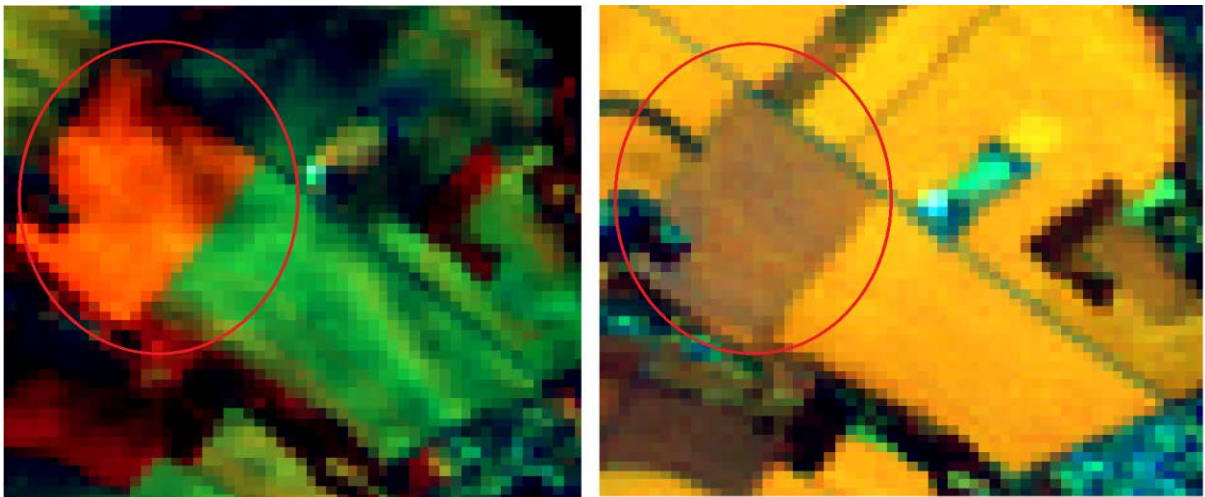


Figura 22 – Comportamento espectral do milho na imagem do *Landsat 5* na composição RGB-453 (falsa-cor) de 25 de Dezembro de 2004 (esquerda) e 26 de Janeiro de 2005 (direita).  
Elaborado pelo autor, 2015.

Nesta figura, a área destacada representa um talhão de cultivo de milho em duas imagens de períodos diferentes. Na imagem da esquerda, referente ao dia 25 de Dezembro de 2004 no período inicial da safra, a área destacada apresenta uma coloração que para o intérprete poderia ser confundida com o amarelo presente na cultura da soja. Contudo, na imagem da direita referente ao dia 26 de Janeiro de



2005, onde a safra já está em período mais avançado, percebe-se que aquele amarelado inicial muda de cor, caracterizando essa área como uma cultura de milho e não de soja.

No caso do mapeamento da vegetação nativa, a assinatura espectral não apresenta grandes variações no mesmo ano. Isso ocorre pelo fato de que a mesma permanece no solo durante todo o período de safra, isto permitiu que a edição manual do mapeamento fosse executada em todos os anos selecionados sem grandes problemas de identificação.

Por outro lado, apesar da maior disponibilidade de imagens para classificação da vegetação nativa, o processo de mapeamento destas áreas foi mais trabalhoso do que a soja. O maior limitador desta edição manual consiste no fato de que, conforme os anos selecionados vão se passando as áreas de mapeamento a serem classificadas vão diminuindo. Isto torna o mapeamento em uma imagem de resolução espacial de 30 metros, que é o caso do *Landsat*, mais limitado.

Outro limitador encontrado foi a confusão da assinatura espectral da vegetação nativa com outras culturas agrícolas, como o milho ou até eucalipto, culturas comuns na região. Nestes casos, podem ocorrer equívocos quanto a percepção da vegetação nativa. O uso de diversas imagens em diferentes períodos do ano pode contribuir para a resolução deste equívoco. Na Figura 24 consta um exemplo de área onde a assinatura espectral da vegetação nativa pode ser confundida com outro alvo.

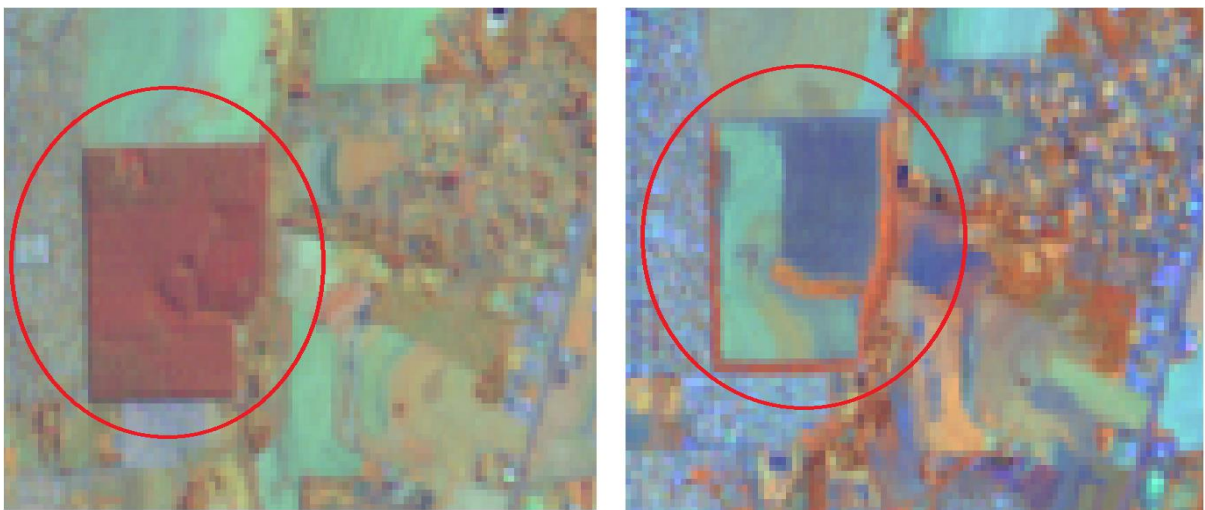


Figura 23 – Comportamento espectral da vegetação nativa na imagem do *Landsat 5* na composição RGB-453 (falsa-cor), de 20 de Fevereiro de 1985 (esquerda) e 14 de Julho de 1985 (direita).  
Elaborado pelo autor, 2015.

Neste caso, a observação da imagem da esquerda do dia 20 de Fevereiro de 1985, permite classificar a área destacada como vegetação nativa. Contudo, a imagem da direita referente ao dia 14 de Julho de 1985, permite a percepção de que a área em questão sofreu uma alteração de sua assinatura espectral não permitindo que a mesma seja caracterizada como vegetação nativa.

De forma geral, a observação de um mesmo alvo em várias imagens, em diferentes períodos permite que os erros de omissão e inclusão causados pelos classificadores digitais sejam identificados. Esta observação temporal também permite que sejam identificadas possíveis confusões de interpretação da assinatura espectral de determinados alvos.

Por outro lado, a limitação quanto a resolução espacial das imagens *Landsat* aqui utilizadas não permitiram que análises mais detalhadas sobre alguns alvos fossem realizadas. Este fato foi observado no processo de mapeamento da vegetação nativa, onde não foi possível a identificação de detalhes da mesma, podendo causar equívocos no processo de mapeamento. Esta confusão, que a vegetação nativa pode causar com os demais alvos agrícolas, possivelmente interferirá na identificação da mesma, por esta metodologia.

De forma geral, levando em consideração a metodologia adotada, pode-se realizar o mapeamento da soja e da cobertura vegetal nativa através das imagens orbitais nos cenários selecionados que serão descritos a seguir.

### **5.2.1. Cenário 1984/1985**

Para o mapeamento da soja e da vegetação nativa, a disponibilidade de imagens foi extremamente baixa para este período. Este fato ocorreu devido a pouca quantidade de imagens livres de nuvens, que poderiam ser utilizadas para a execução do mapeamento. De todas as imagens utilizadas para este processo, a referente ao dia 19 de Dezembro de 1984, foi utilizada para a execução da classificação automática para o mapeamento da soja, sendo escolhida, pois apresentou menor cobertura de nuvens.

No geral, o mapeamento da soja para este período foi bastante comprometido em função da baixa disponibilidade de imagens para o mapeamento no período de desenvolvimento vegetativo da safra. O processo de edição manual para o mapeamento da oleaginosa ocorreu nas demais imagens selecionadas, mas

também foi parcialmente comprometido pela cobertura de nuvens presente nas mesmas.

Para o processo de classificação automática no mapeamento da vegetação nativa, foi preciso utilizar uma imagem totalmente livre de nuvens, por isso foi processada a imagem do dia 14 de Julho de 1985, esta foi utilizada apenas para a classificação da vegetação nativa, pois encontra-se fora do período da safra de soja. A ausência da cobertura de nuvens permitiu que o mapeamento acontecesse com maior facilidade, tanto no processo de classificação automática quanto no processo de edição manual.

O resultado desse mapeamento, de vegetação nativa e de soja, pode ser observado na Figura 24. Diferente do mapeamento observado no período de 1953, a área destinada à vegetação nativa apresentou uma considerável queda em função do aumento da fronteira agrícola na região, sobretudo da soja. As demais áreas não classificadas dentro do mapeamento da área de estudo, como já referido, representam áreas urbanas, corpos d'água, outras culturas agrícolas e demais alvos que não sejam a soja e a vegetação nativa.

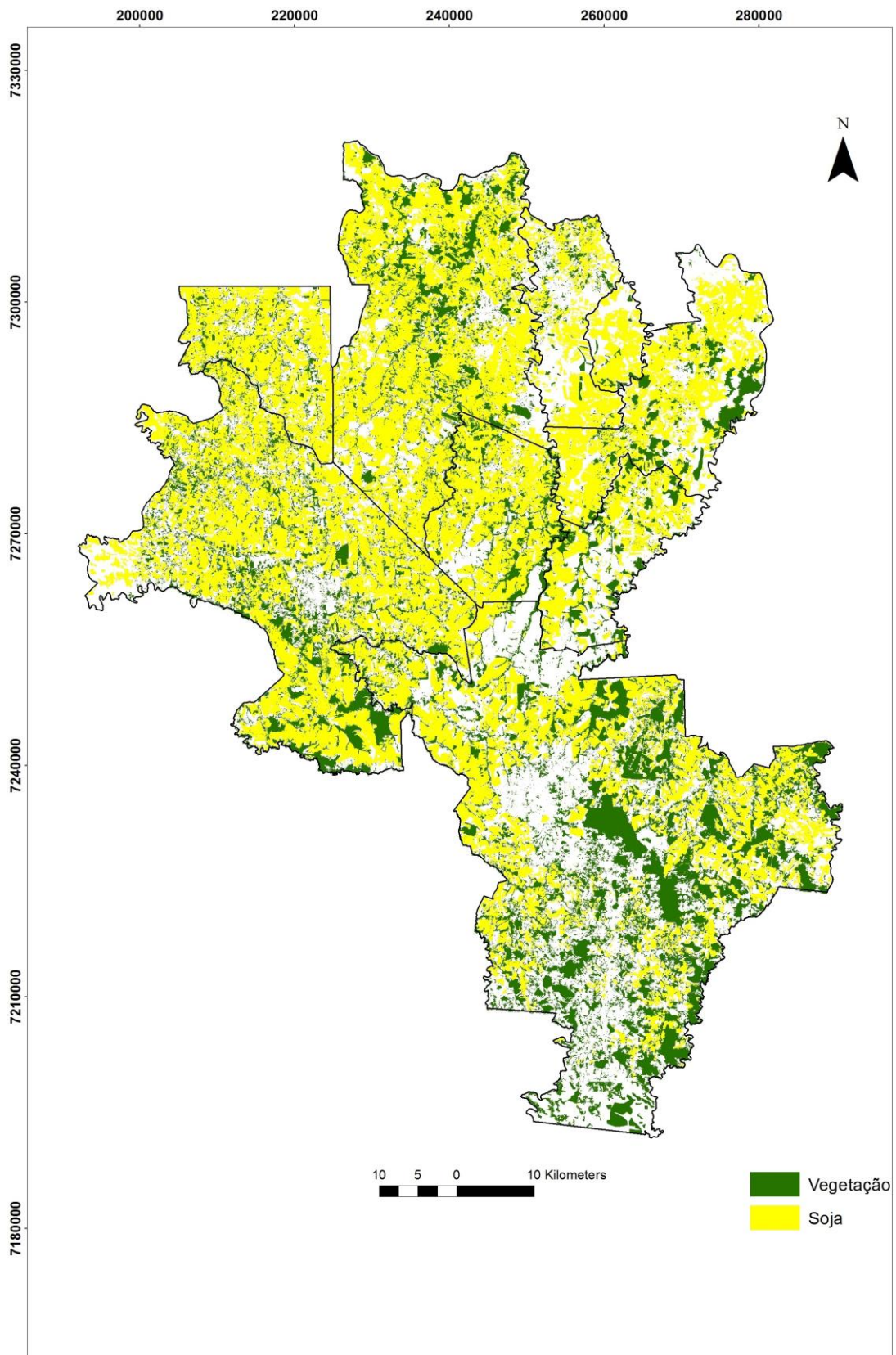


Figura 24 - Mapeamento da soja e da vegetação nativa do período de 1984/1985.  
Elaborado pelo autor, 2015.

Na Tabela 7, estão os resultados dos dados de área de soja e vegetação nativa do mapeamento executado em comparação com área plantada de soja divulgada pelo IBGE, além dos dados de área não mapeada dentro dos municípios estudados.

Ressalta-se que, diferente dos demais levantamentos de área de soja cultivada para este trabalho, que foram diretamente coletados do SIDRA/IBGE, os dados deste período de 1984/1985 foram adquiridos diretamente do Censo Agropecuário referente ao ano de 1985, onde constam os dados aproximados de área plantada por município.

Neste período, os dados oficiais dos municípios de Iracema do Oeste e Maripá não foram computados, pois ambos não existiam neste ano. Iracema do Oeste foi emancipada em 1991 do município de Formosa do Oeste, enquanto Maripá foi emancipado em 1993, que até então pertencia ao município de Palotina.

Tabela 7 – Área total em hectares de soja e vegetação nativa mapeada em comparação a área do IBGE no período de 1984/1985.

<b>Município</b>	<b>Soja IBGE</b>	<b>Soja Mapeada</b>	<b>Veg. Nativa Mapeada</b>	<b>Área Não Mapeada</b>	<b>Diferença Soja IBGE/Mapeada</b>
Assis Chateaubriand	51.621,00	68.199,68	17.534,69	10.972,57	-24,31%
Cafelândia	19.297,00	16.316,92	5.161,74	5.690,58	18,26%
Cascavel	76.817,00	68.150,22	66.929,70	74.192,14	12,72%
Iracema do Oeste	-	4.503,38	370,63	3.376,26	-
Jesuítas	9.950,00	10.796,19	2.164,83	11.976,92	-7,84%
Maripá	-	20.012,44	3.729,19	4.992,62	-
Nova Aurora	21.942,00	26.081,31	6.884,88	14.278,91	-15,87%
Toledo	88.609,00	72.982,37	27.150,58	19.860,77	21,41%
Tupãssi	20.061,00	21.841,58	6.434,82	2.844,24	-8,15%
<b>Total</b>	<b>288.297</b>	<b>308.884,14</b>	<b>148.185</b>	<b>203.849,61</b>	<b>-6,67%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

De toda a área de estudo, 271.311,9 hectares são ocupadas pela soja, a vegetação possui uma área de 148.185 hectares. A área não mapeada representou 203.849,61 hectares. Os dados colhidos do mapeamento das áreas de soja, de vegetação nativa e áreas não mapeadas podem ser observados na Figura 25.

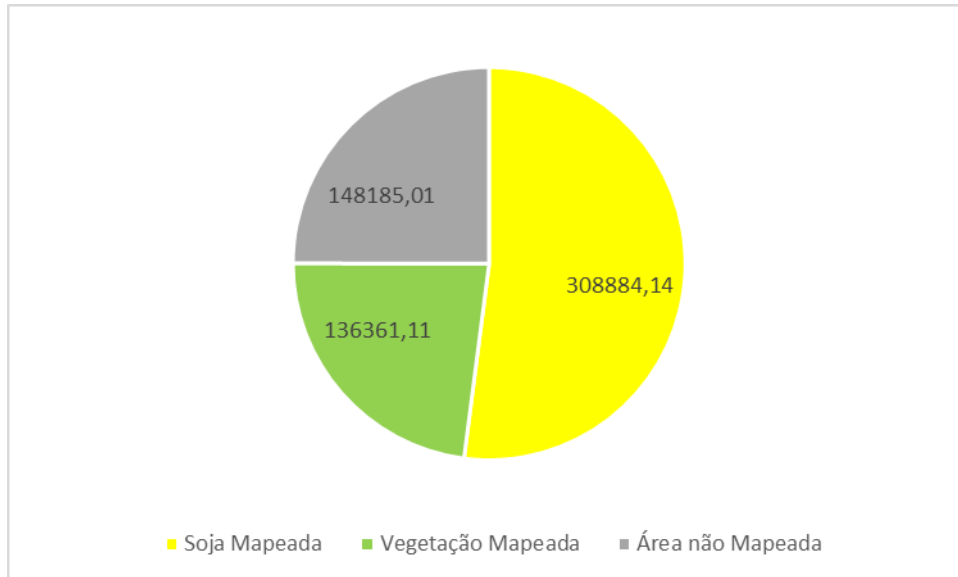


Figura 25 - Distribuição da área total de soja e vegetação nativa em hectares no mapeamento do período de 1984/1985.  
Elaborado pelo autor, 2015.

Analisando as áreas de soja, observa-se que ocorreram algumas diferenças dos dados desta pesquisa com os números do Censo Agropecuário do IBGE. Os municípios que apresentaram maior diferença foram Assis Chateaubriand e Toledo com 24,3% e 21,4% respectivamente, comparando-se com os dados oficiais. Estas discrepâncias entre os dados do IBGE e os dados levantados no presente estudo, ocorreram em função das dificuldades do mapeamento que são decorrentes da baixa qualidade das imagens orbitais, como tratado anteriormente. Também a discrepância dos dados pode estar atrelada as diferenças de metodologia de cálculo de área desta pesquisa com os métodos utilizados pelo IBGE. Os dados oficiais disponíveis apresentam uma metodologia baseada em questionários direcionados aos produtores ou associações de produtores para o levantamento total de área semeada no país.

No geral, a diferença entre o total mapeado e o estimado pelo IBGE, na soma de todos os municípios selecionados para este trabalho, foi de 205.87,14 hectares o que representa uma variação de 6,67%. Este aumento do cálculo total da área em

relação ao IBGE ocorreu em função das limitações já citadas e também por não contabilizar os municípios de Iracema do Oeste e Maripá no cálculo dos dados oficiais.

### **5.2.2. Cenário 1993/1994**

Para o mapeamento do período de 1993/1994 foram utilizadas imagens de Novembro de 1993 a Maio de 1994, tanto para o mapeamento da soja quanto para a vegetação nativa. No geral, a disponibilidade de imagens foi parcialmente reduzida em função da limitada qualidade das mesmas. Parte das imagens *Landsat* disponibilizadas no período desejado, apresentavam alguma cobertura de nuvens prejudicando a sua visualização e dificultando o mapeamento dos alvos. Contudo, a baixa qualidade de imagens não comprometeu totalmente a realização do mapeamento.

As imagens utilizadas para os procedimentos de classificação automática foram as de 12 de Janeiro de 1994 para o mapeamento da soja, e de 04 de Maio de 1994 para a vegetação nativa. No caso da soja, esta imagem foi escolhida no período em que se pode observar que a oleaginosa se encontra já estabelecida, ou seja, em pleno desenvolvimento vegetativo, permitindo o reconhecimento de sua assinatura espectral. Esta imagem foi a que apresentou menor cobertura de nuvens, atenuando as falhas que poderiam ser cometidas pelo classificador. Para o mapeamento da vegetação nativa, a imagem utilizada para a classificação automática pertence ao período de entressafra da soja, pois possui pouca cobertura de nuvens, contribuindo para a realização do mapeamento da região.

As demais imagens de outras datas utilizadas neste período foram aproveitadas no processo de edição manual. Apesar de apresentar uma maior cobertura de nuvens, estas imagens permitiram que boa parte da identificação e correção dos erros cometidos pelos classificadores automáticos fossem realizadas.

O resultado final deste processo foi um mapa temático, onde constam os dados de área de soja e vegetação nativa no período de Novembro de 1993 a Maio de 1994. Na Figura 26 consta a distribuição espacial da soja e da vegetação nativa no período de 1993/1994 e o mapa da divisão política dos municípios compreendidos pelo estudo.

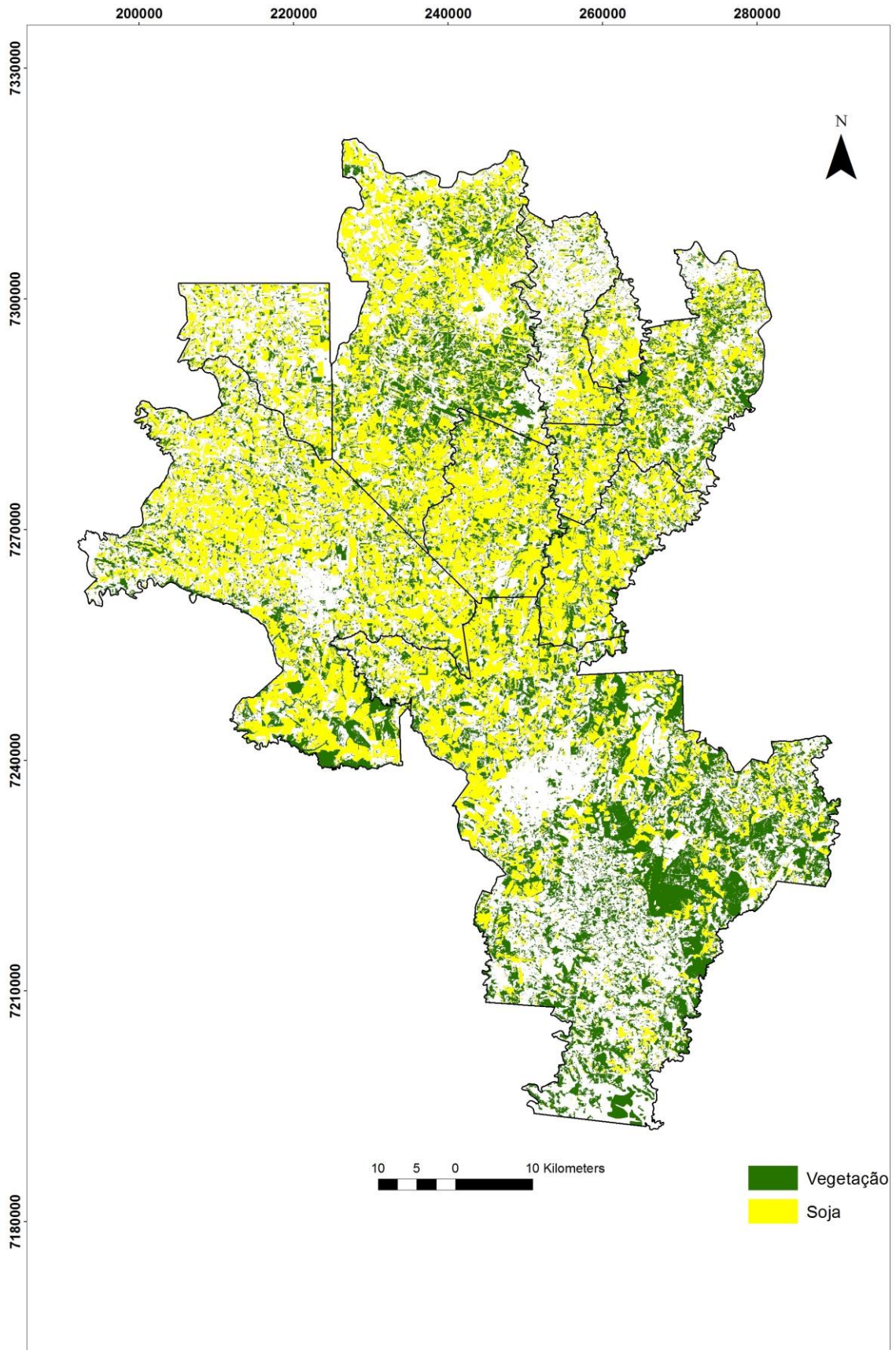


Figura 26 - Mapeamento da soja e da vegetação nativa do período de 1993/1994. Elaborado pelo autor, 2015.



No mapa pode ser observado que o cultivo da soja predomina na região contemplando a maior parte da área em estudo, enquanto a vegetação nativa possui uma representatividade bem menor. Apresenta-se na Tabela 8 o cálculo de área de soja e vegetação nativa através da classificação das imagens *Landsat* em comparação com os dados de área plantada de soja estimada pelo IBGE para os municípios selecionados, também constam os dados de área não mapeada no período de 1993/1994.

Tabela 8 – Área total em hectares de soja e vegetação nativa mapeada em comparação a área do IBGE no período de 1993/1994.

<b>Município</b>	<b>Soja IBGE</b>	<b>Soja Mapeada</b>	<b>Veg. Nativa Mapeada</b>	<b>Área Não Mapeada</b>	<b>Diferença Soja IBGE/Mapeada</b>
Assis Chateaubriand	56.000,00	54,788,13	21.868,67	20.050,15	2,2%
Cafelândia	15.100,00	15,454,08	6.028,37	5.686,80	-2,3%
Cascavel	60.050,00	54,664,67	65.561,94	89.045,46	9,9%
Iracema do Oeste	3.800,00	3,787,39	1.252,18	3.210,71	0,3%
Jesuítas	6.450,00	7,783,06	3.587,25	13.567,64	-17,1%
Maripá	18.000,00	14,420,50	3.609,13	10.704,63	24,8%
Nova Aurora	25.500,00	21,825,32	12.457,20	12.962,59	16,8%
Toledo	49.800,00	57,983,73	21.435,28	40.574,73	-14,1%
Tupãssi	20.300,00	20,605,02	5.657,67	4.857,96	-1,5%
<b>Total</b>	<b>257.500,00</b>	<b>248,311,90</b>	<b>141.457,69</b>	<b>203.660,67</b>	<b>3,7%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Da área total de estudo, 248.311,9 hectares são destinados à semeadura da soja. A vegetação nativa possui uma área total de apenas 141.457,69 hectares. A área não mapeada representa aproximadamente 203.660,67 hectares. Os dados obtidos no mapeamento das áreas de soja, de vegetação nativa e áreas não mapeadas podem ser observados na Figura 27.

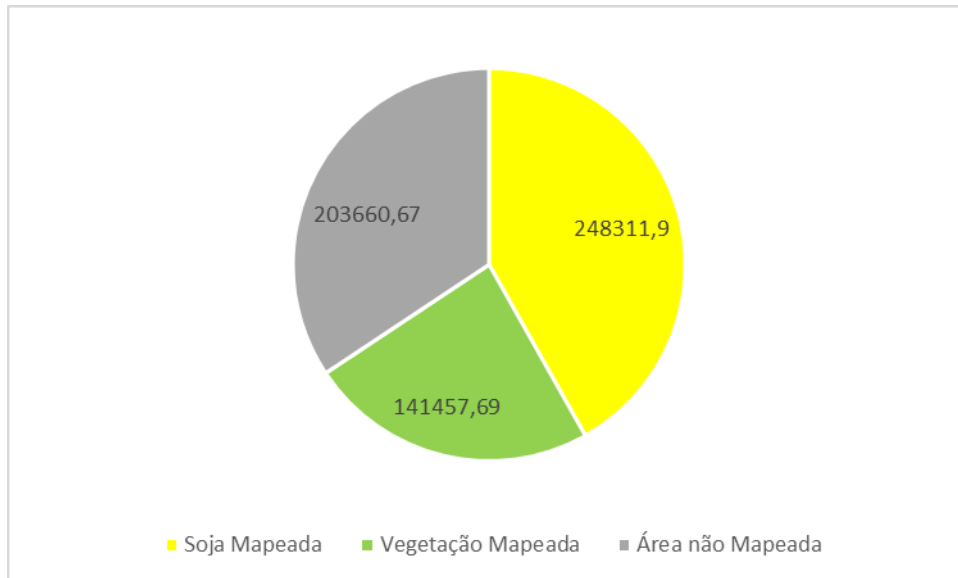


Figura 27 - Distribuição da área total de soja e vegetação nativa em hectares no mapeamento do período de 1993/1994.  
Elaborado pelo autor, 2015.

Analisando as áreas de soja, percebe-se a existência de algumas discrepâncias dos dados desta pesquisa em relação aos dados do IBGE. Os municípios que apresentaram maior diferença foram Maripá com 24,8%, Jesuítas com 17,1% e Nova Aurora com 16,8% comparados aos dados do IBGE. No geral, a diferença entre o total mapeado e o estimado pelo órgão oficial na soma de todos os municípios selecionados para este estudo foi de 9.188,1 hectares, o que representa uma variação de 3,7%. Estas variações, principalmente as relacionadas aos municípios citados, ocorreu em função das dificuldades no mapeamento da soja de algumas áreas em função da cobertura de nuvens nas imagens e também pela diferença de metodologia de cálculo de área entre o IBGE e o deste trabalho.

Estes dados sinalizam que na soma de toda a área, a estimativa de área plantada de soja deste estudo aproxima-se dos dados estimados pelo IBGE no período analisado apresentando uma pequena variação.

### 5.2.3. Cenário 2004/2005

O mapeamento do período da safra de 2004/2005 ocorreu utilizando basicamente imagens dos meses de Dezembro de 2004 e Fevereiro de 2005, que possibilitou identificar a assinatura espectral e mapear as áreas de soja e cobertura vegetal nativa. O mapeamento ocorreu sem grandes problemas, neste cenário a maior parte das imagens disponíveis pôde ser utilizada, pois não ocorreu a

cobertura de nuvens. Contudo, neste período ocorreram ruídos nas imagens do *Landsat 7* que apresentaram problemas e deixaram de ser disponibilizadas. Sendo assim, a maior parte deste processo foi realizado por imagens do satélite *Landsat 5*, que apresentaram boa qualidade para a execução do mapeamento. O resultado final do mapeamento da soja e da vegetação pode ser observado na Figura 28 a seguir:

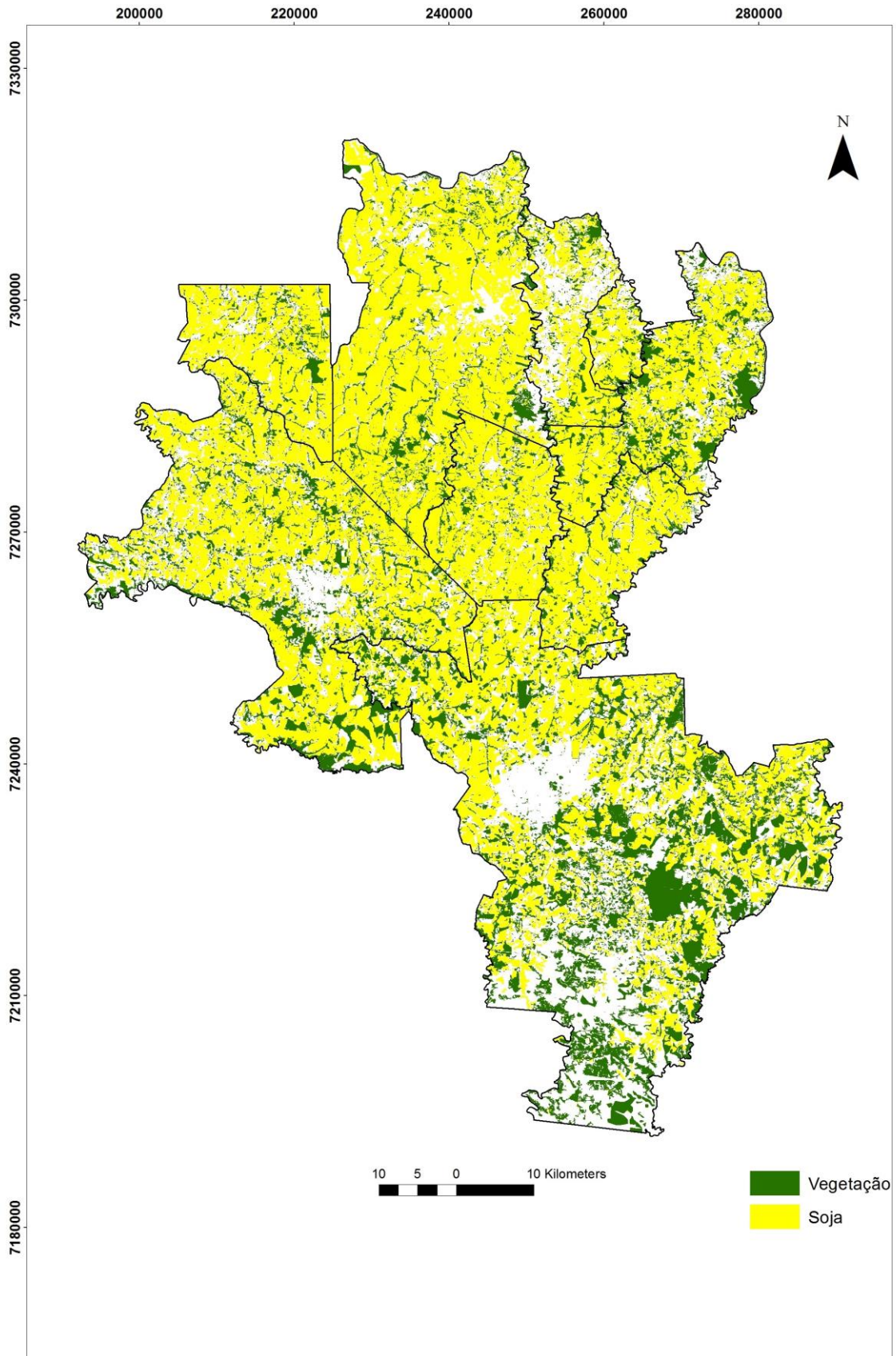


Figura 28 - Mapeamento da soja e da vegetação nativa do período de 2004/2005.  
Elaborado pelo autor, 2015.

A imagem utilizada para a classificação digital, tanto da soja quanto da vegetação nativa, foi de 26 de Janeiro de 2005. Esta imagem se mostrou satisfatória para o processamento, pois não apresentou cobertura de nuvens além de pertencer a uma época em que o cultivo da soja já pode ser mais bem identificado na imagem orbital. Assim, as demais imagens em diferentes datas serviram para corrigir os erros de omissão e inclusão causados pelos classificadores automáticos.

No geral, este ano a cultura da soja apresentou grande vigor vegetativo, o que contribuiu muito para a identificação da oleaginosa nas imagens orbitais. A vegetação nativa também pôde ser identificada sem grandes problemas. Contudo, a diminuição das áreas florestais, ao decorrer dos anos dificulta o mapeamento, pela limitação espacial de 30 metros das imagens utilizadas. Na Tabela 9, estão os resultados dos dados de área de soja e vegetação nativa do mapeamento executado em comparação com área plantada de soja divulgada pelo IBGE, além dos dados de área não mapeada dentro dos municípios estudados.

Tabela 9 – Área total em hectares de soja e vegetação nativa mapeada em comparação a área do IBGE no período de 2004/2005.

<b>Município</b>	<b>Soja IBGE</b>	<b>Soja Mapeada</b>	<b>Veg. Nativa Mapeada</b>	<b>Área Não Mapeada</b>	<b>Diferença Soja IBGE/Mapeada</b>
Assis Chateaubriand	72.200,00	74.518,00	12.451,16	9.737,79	-3,11%
Cafelândia	21.750,00	20.308,43	4.354,44	2.506,39	7,10%
Cascavel	87.700,00	80.265,51	61.146,54	67.860,02	9,26%
Iracema do Oeste	6.530,00	5.978,00	1.311,11	961,18	9,23%
Jesuítas	11.200,00	12.033,30	3.637,39	9.267,26	-6,92%
Maripá	21.400,00	21.640,19	3.573,76	3.520,31	-1,11%
Nova Aurora	30.350,00	29.764,26	11.064,04	6.416,81	1,97%
Toledo	69.300,00	74.683,96	23.567,74	21.742,03	-7,21%
Tupãssi	22.500,00	24.093,69	3.808,52	3.218,45	-6,61%
<b>Total</b>	<b>342.930,00</b>	<b>343.285,33</b>	<b>124.914,69</b>	<b>125.230,24</b>	<b>-0,10%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

De toda a área de estudo, a destinada à soja foi de 343.285,33 hectares. A vegetação nativa apresenta queda em relação ao mapeamento do período anterior com o total de 124.914,69 hectares. A área não mapeada representa aproximadamente o restante, total de 125.230,24 hectares. Os dados colhidos do mapeamento das áreas de soja, de vegetação nativa e áreas não mapeadas podem ser observados na Figura 29.

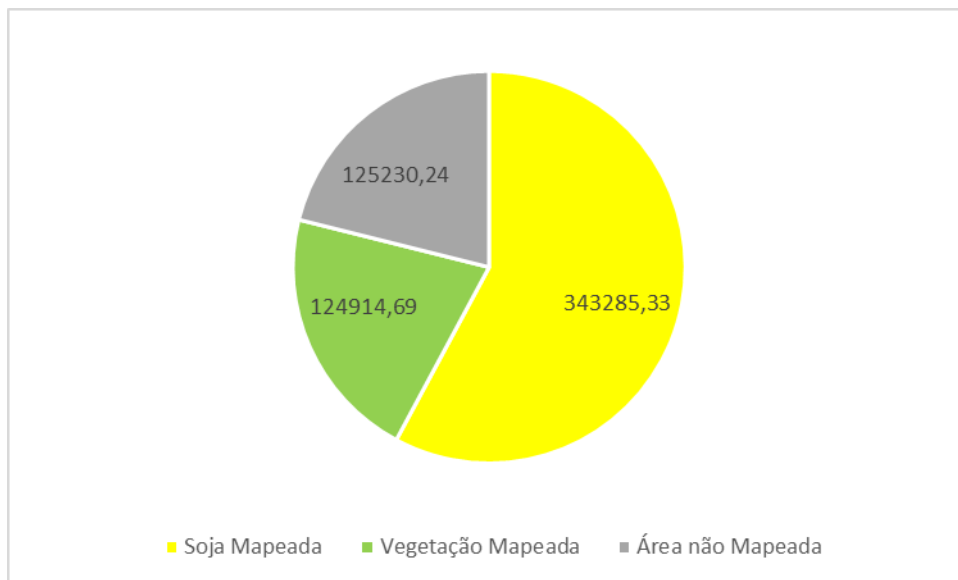


Figura 29 - Distribuição da área total de soja e vegetação nativa em hectares no mapeamento do período de 2004/2005.  
Elaborado pelo autor, 2015.

Analisando os dados de área semeada de soja mapeada, percebe-se que ocorreu pouca variação em relação aos valores divulgados pelo IBGE para este período. O total semeado de acordo com o IBGE foi de 342.930 hectares. Este dado sinaliza que houve uma leve variação de 355,33 hectares o que representa diferença de apenas 0,1%. Estes dados confirmam o fato de que a boa qualidade das imagens facilita a identificação da soja por essa metodologia.

#### 5.2.4. Cenário 2010/2011

Para o mapeamento da soja neste período a disponibilidade de imagens foi regular, onde foram observados produtos com alguma cobertura de nuvens ou ruídos que puderam comprometer o mapeamento desta safra. Na Figura 30 consta o mapeamento da soja e vegetação nativa durante o período de 2010/2011.

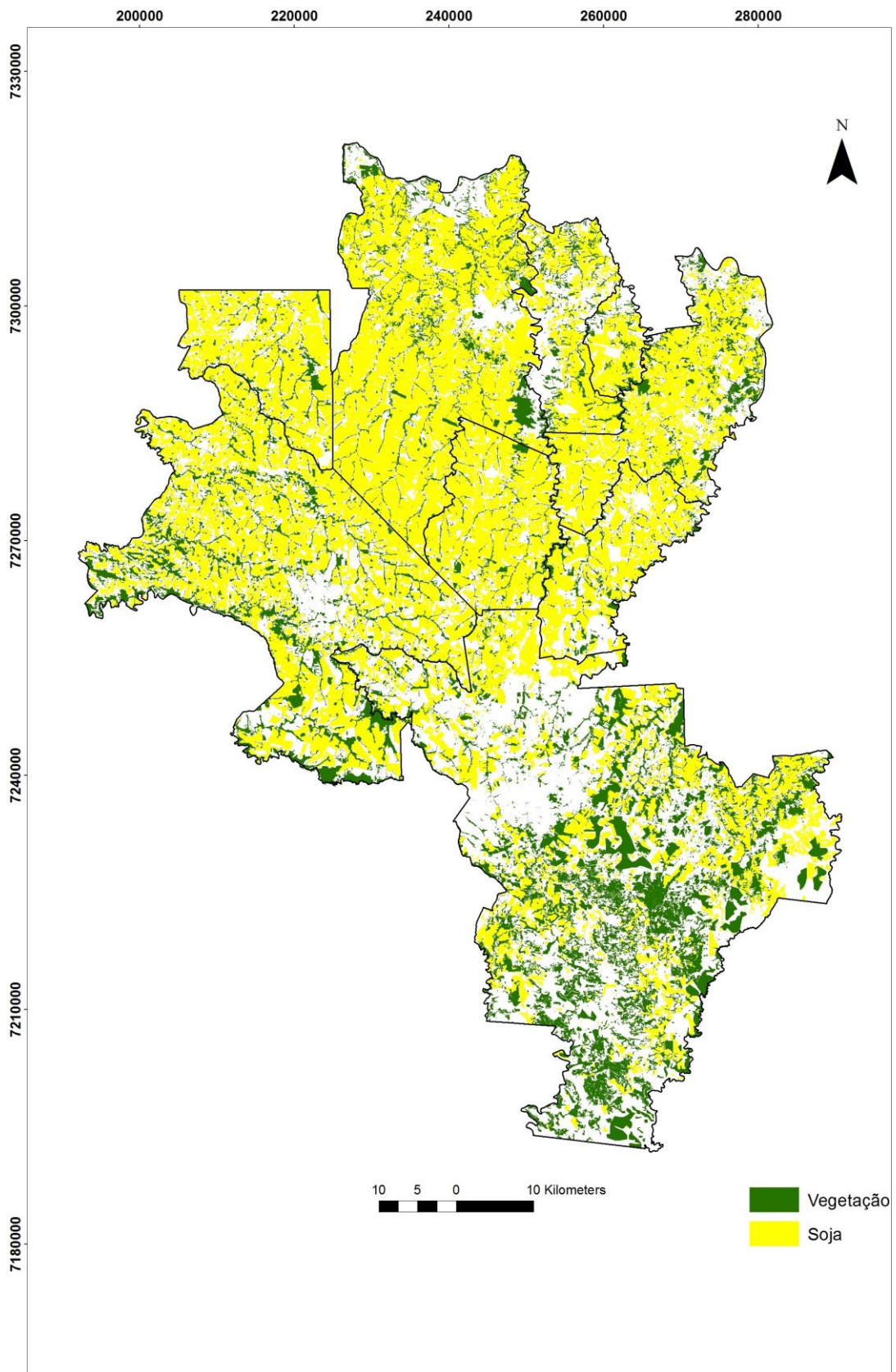


Figura 30 - Mapeamento da soja e da vegetação nativa do período de 2010/2011.  
Elaborado pelo autor, 2015.

Para a classificação, foi utilizada a imagem de 27 de Janeiro de 2011, onde os resultados dos classificadores para o mapeamento da soja e da vegetação nativa se mostraram satisfatórios.

Para a execução do mapeamento da soja a edição manual foi pouco utilizada sendo que o classificador automático apresentou bons resultados. De qualquer forma, as demais imagens também foram utilizadas para correção de alguns equívocos causados pelo procedimento automático. Da mesma forma, o mapeamento da vegetação nativa não enfrentou grandes problemas, sendo que, as imagens utilizadas não apresentaram impedimentos para o mapeamento.

Na Tabela 10 estão os dados de área de soja comparados com os dados do IBGE, além dos dados de área de vegetação nativa e área não mapeada.

Tabela 10 – Área total em hectares de soja e vegetação nativa mapeada em comparação a área do IBGE no período de 2010/2011.

<b>Município</b>	<b>Soja IBGE</b>	<b>Soja Mapeada</b>	<b>Veg. Nativa Mapeada</b>	<b>Área Não Mapeada</b>	<b>Diferença Soja IBGE/Mapeada</b>
Assis Chateaubriand	70.400,00	70.978,25	13.441,50	12.287,20	-0,81%
Cafelândia	23.820,00	23.070,82	2.764,38	1.334,05	3,25%
Cascavel	86.100,00	81.424,90	59.168,39	68.678,78	5,74%
Iracema do Oeste	6.462,00	5.109,01	1.310,90	1.830,37	26,48%
Jesuítas	11.500,00	12.264,00	3.643,16	9.030,80	-6,23%
Maripá	21.000,00	20.033,00	2.675,32	6.025,94	4,83%
Nova Aurora	31.100,00	28.547,10	7.095,76	11.602,25	8,94%
Toledo	66.000,00	62.106,07	20.349,94	37.537,73	6,27%
Tupãssi	22.150,00	22.071,93	2.825,60	6.223,12	0,35%
<b>Total</b>	<b>338.532,00</b>	<b>325.605,08</b>	<b>113.274,94</b>	<b>154.550,24</b>	<b>3,97%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Do total mapeado, a área ocupada para o cultivo da soja representou o total de 325.605,08 hectares. A vegetação apresentou a área total de 113.274,94 hectares, enquanto a área não mapeada apresenta o total de 154.550,24 hectares. Os dados apresentados trazem a predominância das áreas de soja sobre as de



vegetação nativa e áreas não mapeadas que podem ser observadas na Figura 31.

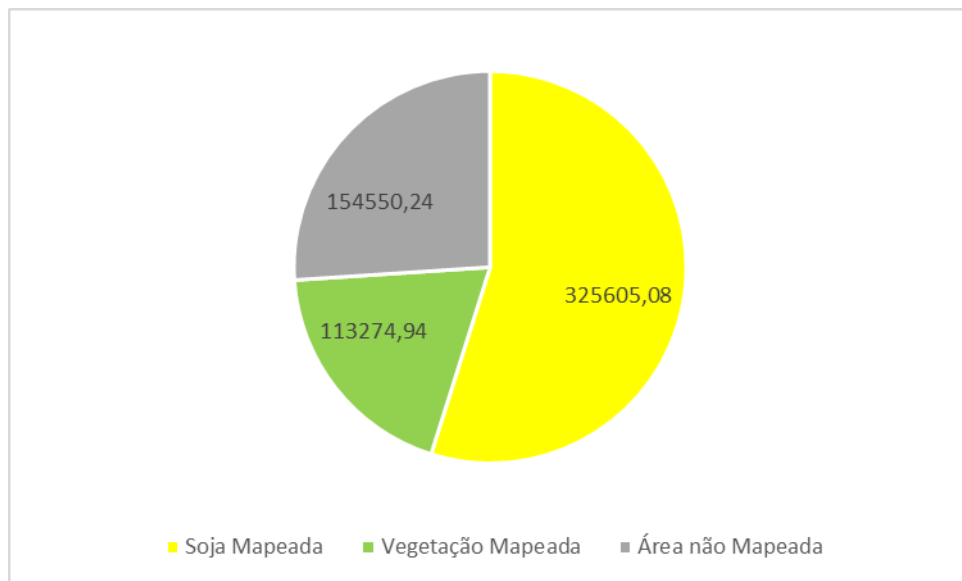


Figura 31 - Distribuição da área total de soja e vegetação nativa em hectares no mapeamento do período de 2010/2011. Elaborado pelo autor, 2015.

No geral, foi observada uma diferença de 3,9% da área total de soja mapeada em relação ao total calculado pelo IBGE no período que foi de 338.532 hectares. O município que apresentou maior diferença de dados foi Iracema do Oeste com uma variação de 26,4%. Esta forte variação ocorreu em função da presença de nuvens nas imagens selecionadas que comprometeu o mapeamento deste município.

Os dados de vegetação nativa seguem apresentando queda de área, sinalizando a intensificação da exploração da região e principalmente da expansão da fronteira agrícola, sobretudo da soja.

#### 5.2.5. Cenário 2013/2014

Na safra 2013/2014, o mapeamento da soja só pode ser efetuado nas imagens do início de Dezembro até início de Fevereiro. Após este período as imagens não foram utilizadas, devido à intensa cobertura de nuvens observada, dificultando assim o mapeamento das culturas agrícolas e da vegetação nativa. Contudo, as imagens do período inicial vegetativo da soja foram suficientes para realizar o mapeamento de boa parte da cultura já semeada.

Para este mapeamento foram utilizadas as imagens dos dias 18 de Dezembro de 2013 para a soja, e do dia 19 de Janeiro de 2014 para a vegetação nativa. Estas

imagens se encontram com baixa cobertura de nuvens, facilitando tanto o processo de classificação automática quanto o processo de edição manual. Estas e as demais imagens utilizadas nos outros períodos proporcionaram maior facilidade de identificação espectral da soja e da vegetação nativa nos municípios aqui estudados.

Ressalta-se a importância de que neste mapeamento, foi possível contar com as imagens do *Landsat 8* que já começaram a ser disponibilizadas neste mesmo ano. A alta qualidade e a resolução espectral das novas imagens do programa *Landsat 8* permitiu que o mapeamento fosse executado com maior regularidade.

Na Figura 32 consta o mapa final com as áreas de soja e vegetação nativa no período de 2013/2014 nos municípios selecionados.

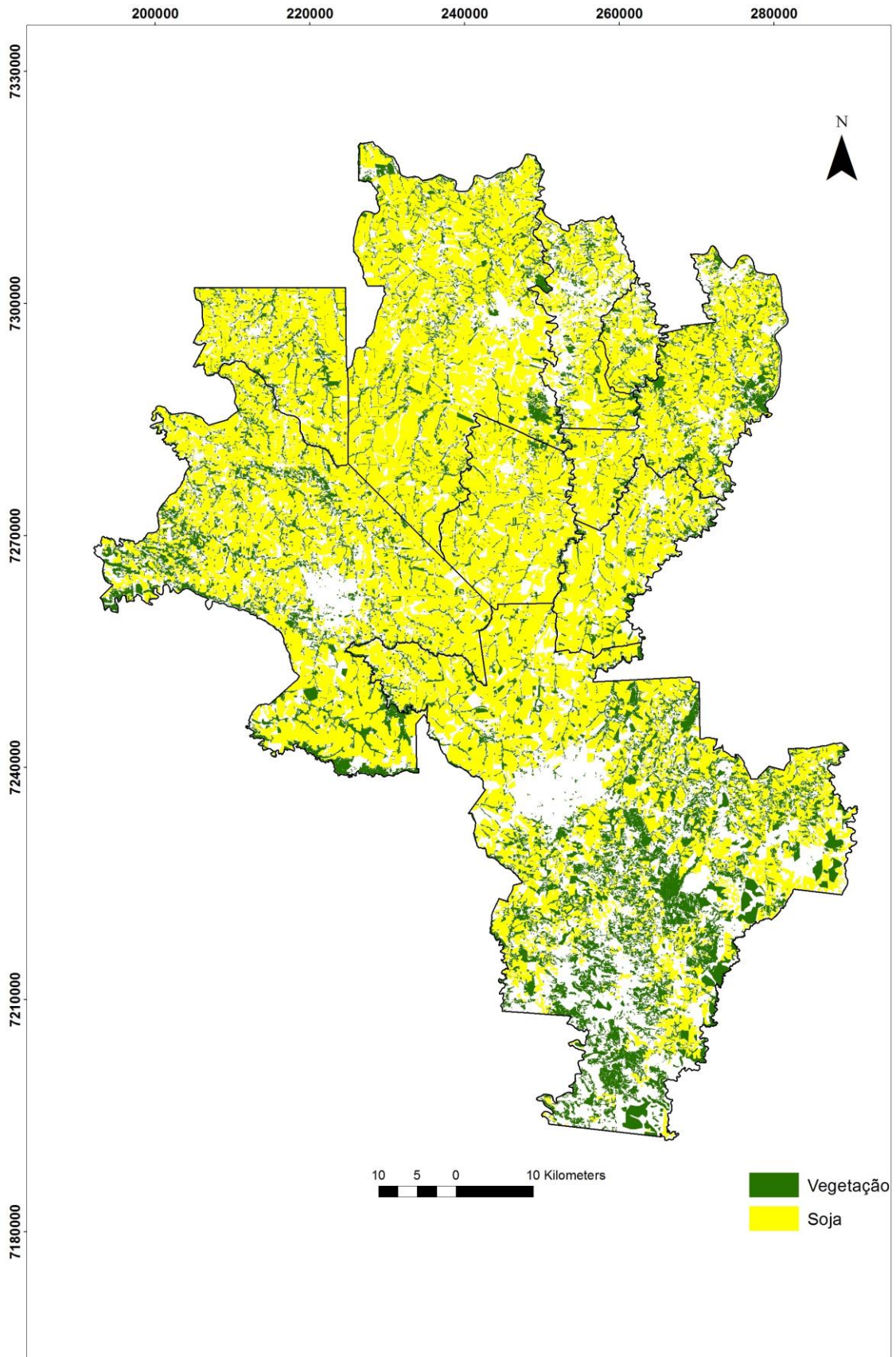


Figura 32 - Mapeamento da soja e da vegetação nativa do período de 2013/2014.  
Elaborado pelo autor, 2015.

Constam na Tabela 11 os dados de área de soja e vegetação nativa através da classificação das imagens *Landsat* em comparação com os números da área plantada de soja apresentados pelo IBGE para os municípios selecionados no período de 2013/2014, e também estão os dados de área não mapeada.

Tabela 11 – Área Total em Hectares de Soja e Vegetação nativa Mapeada em Comparação a Área do IBGE no Período de 2013/2014.

<b>Município</b>	<b>Soja IBGE</b>	<b>Soja Mapeada</b>	<b>Veg. Nativa Mapeada</b>	<b>Área Não Mapeada</b>	<b>Diferença Soja IBGE/Mapeada</b>
Assis Chateaubriand	68.200,00	67.787,56	11.827,94	17.091,45	0,61%
Cafelândia	20.820,00	18.533,05	4.698,17	3.938,03	12,34%
Cascavel	91.984,00	87.053,50	52.363,42	69.855,15	5,66%
Iracema do Oeste	6.840,00	5.800,71	1.874,09	575,48	17,92%
Jesuítas	11.500,00	12.406,21	4.143,39	8.388,35	-7,30%
Maripá	22.250,00	20.505,88	4.119,22	4.109,16	8,51%
Nova Aurora	30.020,00	29.376,81	9.619,54	8.248,76	2,19%
Toledo	64.100,00	69.405,33	22.070,86	28.517,55	-7,64%
Tupãssi	22.050,00	23.011,99	3.841,29	4.267,37	-4,18%
<b>Total</b>	<b>337.764,00</b>	<b>331.881,04</b>	<b>114.557,92</b>	<b>144.991,30</b>	<b>1,16%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Da área total de estudo, a maior parte segue ocupada pelo cultivo da soja na safra analisada, o que representa 331.881,04 hectares. A vegetação nativa possuiu um total de 114.557,92 hectares, enquanto a área não mapeada representa o somatório de 144.991,3 hectares. Os dados apresentados confirmam a predominância das áreas de soja sobre as de vegetação nativa e áreas não mapeadas que podem ser observadas na Figura 33.

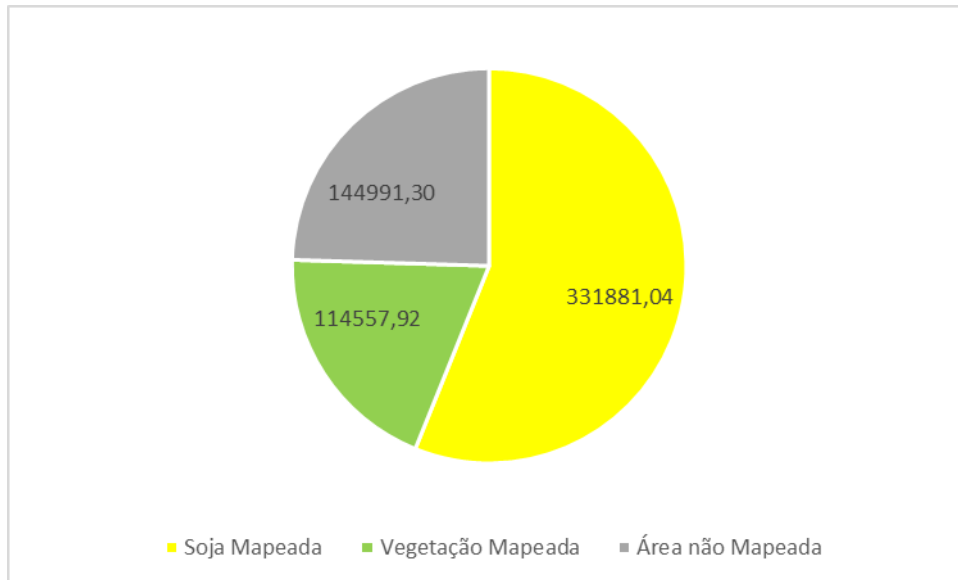


Figura 33 - Distribuição da área total de soja e vegetação nativa em hectares no mapeamento do período de 2013/2014.  
Elaborado pelo autor, 2015.

Quando comparado os dados da soja com o IBGE referente à área colhida, é possível observar que o município que apresentou maior variação dos dados oficiais foi Iracema do Oeste com uma diferença de 17,92%, seguido por Cafelândia com 12,34%. Quanto ao total da área de estudo, de acordo com o IBGE, o total cultivado nos municípios selecionados foi de 337.764 hectares, enquanto o valor calculado por este trabalho foi um pouco menor o que representa uma diferença de 1,16%.

As diferenças observadas entre os dados do IBGE e os mapeados neste estudo estão atreladas as dificuldades de mapeamento em algumas áreas, em função da qualidade de imagens e também pela diferença de metodologia já citada anteriormente.

### 5.3. Validação do mapa do cenário 2013/2014

Após a realização do mapeamento foi executado o procedimento de validação do mesmo, a fim de verificar a exatidão cartográfica conforme o método Ginevan (1979) aplicado por Valeriano (1985). Os resultados apresentados neste procedimento podem ser observados na Tabela 12. Nesta tabela apresenta-se os pontos verificados através dos dados de campo, o uso e cobertura no ponto amostral, a confirmação ou negação de que o ponto havia sido classificado corretamente e a proporção de pontos classificados corretamente a cada acréscimo de 10 ao tamanho amostral.

Tabela 12 – Relação de pontos classificados para o mapeamento do período de 2013/2014.

PONTO	COORD. X	COORD. Y	USO E COBERTURA DA TERRA	CLASSIFICAÇÃO CORRETA	PROPORÇÃO DE PONTOS CLASSIFICADOS CORRETAMENTE À ACRÉSCIMOS DE 10 AO TAMANHO DA AMOSTRA
1	-53,51196436480	-24,39378478710	Área não mapeada	sim	1
2	-53,52753176030	-24,36538205270	Soja	sim	
3	-53,47678186720	-24,48124200910	Soja	sim	
4	-53,45873348180	-24,61306319420	Vegetação	sim	
5	-53,43283848910	-24,65434382760	Soja	sim	
6	-53,50211902760	-24,70469012920	Soja	sim	
7	-53,52906035900	-24,75753364400	Soja	sim	
8	-53,52943483720	-24,75742940890	Soja	sim	
9	-53,40624060530	-24,59007021570	Soja	sim	
10	-53,32890292510	-24,62131288230	Área não mapeada	sim	
11	-53,29354026890	-24,66636179320	Soja	sim	1
12	-53,27543272760	-24,66852146870	Vegetação	sim	
13	-53,33051715780	-24,69937100340	Área não mapeada	sim	
14	-53,35274370760	-24,73195771420	Soja	sim	
15	-53,38266939090	-24,76200552500	Soja	sim	
16	-53,37079900720	-24,85019926310	Soja	sim	
17	-53,45782693700	-24,98945871820	Área não mapeada	sim	
18	-53,46074550360	-24,98999080970	Vegetação	sim	
19	-53,45181953110	-25,02105208150	Soja	sim	
20	-53,42835719500	-25,06013430440	Vegetação	sim	
21	-53,50364400050	-25,09122381710	Soja	sim	0,97
22	-53,49522302430	-24,89274252420	Soja	sim	
23	-53,49236884200	-25,14832271720	Soja	sim	
24	-53,44237684800	-25,15961426760	Vegetação	sim	
25	-53,84014045490	-24,40845463000	Vegetação	sim	
26	-53,85815715260	-24,42498230600	Soja	sim	
27	-53,83221908610	-24,46966121000	Soja	sim	
28	-53,78920258390	-24,66571873340	Vegetação	sim	
29	-53,40262852150	-25,35308015550	Área não mapeada	sim	
30	-53,32680024730	-25,35154294370	Erro	não	
31	-53,33628716680	-24,70439954000	Soja	sim	0,95
32	-53,30540958370	-24,93762417140	Soja	sim	
33	-53,57107733950	-24,86017045500	Soja	sim	
34	-53,48779656550	-25,14588739790	Soja	sim	
35	-53,24888729040	-25,09555062440	Erro	não	
36	-53,80225139030	-24,65537847590	Vegetação	sim	
37	-53,86266676610	-24,63557944590	Vegetação	sim	

38	-54,01159246330	-24,67056617980	Soja	sim	0,92	
39	-53,44673479810	-24,57252432880	Soja	sim		
40	-53,54053169490	-24,76032886880	Vegetação	sim		
41	-53,54224222860	-24,90127886960	Erro	não		
42	-53,59601350140	-24,63230035790	Soja	sim		
43	-53,51498576250	-25,02087773410	Vegetação	sim		
44	-53,44747191830	-24,61042223540	Soja	sim		
45	-53,68153713200	-24,89071637400	Soja	sim		
46	-53,28067962380	-25,20608861390	Erro	não		
47	-53,27038781420	-24,64569648930	Soja	sim		
48	-53,58444750500	-24,64603794050	Soja	sim		
49	-53,56962400020	-24,78979747940	Soja	sim		
50	-53,40001527200	-25,22044533680	Área não mapeada	sim	0,93	
51	-53,59713430530	-24,68643348760	Soja	sim		
52	-53,36432397880	-24,91232997110	Soja	sim		
53	-53,15812972390	-25,00753313760	Área não mapeada	sim		
54	-53,77726904710	-24,79150103470	Vegetação	sim		
55	-53,54240870460	-24,90939891920	Soja	sim		
56	-53,62949208120	-24,81583245380	Soja	sim		
57	-53,62949208120	-24,81583245380	Vegetação	sim		
58	-53,62950925450	-24,81577455150	Vegetação	sim		
59	-53,63000684920	-24,84019116810	Soja	sim		
60	-53,63029312300	-24,85372374850	Vegetação	sim		
61	-53,77474411290	-24,67783938040	Erro	não		0,93
62	-53,41202651390	-24,30499819920	Soja	sim		
63	-53,88688204050	-24,39958688200	Soja	sim		
64	-53,80244065490	-24,45802938900	Soja	sim		
65	-53,50994248250	-24,77185682730	Soja	sim		
66	-53,43001505140	-25,23093477360	Vegetação	sim		
67	-53,36344743000	-24,86631009030	Soja	sim		
68	-53,27487410740	-24,89205812400	Soja	sim		
69	-53,32543477400	-24,41738049830	Vegetação	sim		
70	-53,46209526920	-25,34668210880	Área não mapeada	sim		
71	-53,50804151230	-24,67711818520	Soja	sim	0,94	
72	-53,33555932840	-24,96152546520	Soja	sim		
73	-53,33357158890	-24,85594849260	Área não mapeada	sim		
74	-53,62528504990	-24,61554631180	Soja	sim		
75	-53,64586682690	-24,32547139180	Soja	sim		
76	-53,62040876050	-24,52357238150	Vegetação	sim		
77	-53,34221483630	-25,31072985070	Área não mapeada	sim		
78	-53,47137431470	-25,21656117610	Vegetação	sim		
79	-53,42548782610	-25,30396734220	Área não mapeada	sim		
80	-53,44665753580	-25,31986322950	Área não mapeada	sim		
81	-53,93485724550	-24,68291483340	Vegetação	sim		0,94
82	-53,66195173790	-24,24666849000	Soja	sim		

83	-53,71923288690	-24,71405221030	Área não mapeada	sim		
84	-53,35794417570	-25,35380286380	Vegetação	sim		
85	-53,39379844930	-25,35863942580	Vegetação	sim		
86	-53,72778842190	-24,56228000690	Soja	sim		
87	-53,60639882860	-24,41821626510	Soja	sim		
88	-53,25945869390	-24,53212145640	Soja	sim		
89	-53,34970505260	-25,08044810740	Vegetação	sim		
90	-53,28416008860	-25,07334817580	Área não mapeada	sim		
91	-53,17134137630	-24,39806192590	Soja	sim		
92	-53,21796862420	-24,36460301450	Erro	não		
93	-53,42085598630	-24,94403408770	Vegetação	sim	0,94	
94	-53,40598254760	-24,45403225610	Soja	sim		
95	-53,68176154650	-24,76346188280	Vegetação	sim		
96	-53,32474681970	-25,17561595790	Soja	sim		
97	-53,34671193400	-25,23484062080	Área não mapeada	sim		
98	-53,36561868750	-25,18547476500	Vegetação	sim		
99	-53,86901800480	-24,52446130390	Soja	sim		
100	-53,38098104620	-25,31281627100	Vegetação	sim		
101	-53,29070596700	-25,26308249900	Soja	sim		0,94
102	-53,73814876060	-24,90051711790	Soja	sim		
103	-53,74945532890	-24,74057481490	Área não mapeada	sim		
104	-53,41620270750	-24,53241141890	Soja	sim		
105	-53,73947327610	-24,41857220320	Soja	sim		
106	-53,77660120930	-24,39721125430	Vegetação	sim		
107	-53,66944443020	-24,46314570100	Soja	sim		
108	-53,73211307780	-24,51115406600	Erro	não		
109	-53,24040520450	-24,45928597290	Soja	sim		
110	-53,40357702030	-25,09853925880	Vegetação	sim		

\* onde N= tamanho amostra

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Através da proporção de pontos classificados corretamente, notou-se a tendência de que a partir de N=40 há uma convergência da proporção de acertos em torno de 0,95 indicando este como o valor da exatidão do mapeamento.

Seguindo a metodologia de validação do mapeamento aqui realizado, o valor acima de 0,90 indica que o mapeamento do período de 2013/2014 apresentou um erro de 5% indicando assim que o mapa em questão não deve ser rejeitado.

Como já citado, este mapeamento foi realizado apenas para o período de 2013/2014, devido à ausência de dados de campo referente aos períodos anteriores aqui abordados. Contudo, a metodologia utilizada neste mapeamento foi a mesma



executada nos demais períodos, o que permite afirmar que a exatidão cartográfica possivelmente é próxima ao valor aqui apresentado.

#### 5.4. Comparativo de área de soja e cobertura vegetal nativa para os cenários analisados

De acordo com os dados de mapeamento apresentados é possível observar a intensa evolução da área semeada de soja ao longo dos períodos aqui abordados. Para a análise dos dados referentes às áreas de vegetação nativa observou-se intensa subtração da floresta natural que a área sofreu devido a forte exploração que ocorreu na região.

Primeiramente, a evolução da semeadura da soja pode ser observada na Figura 34, onde constam os dados de área total em cada período.

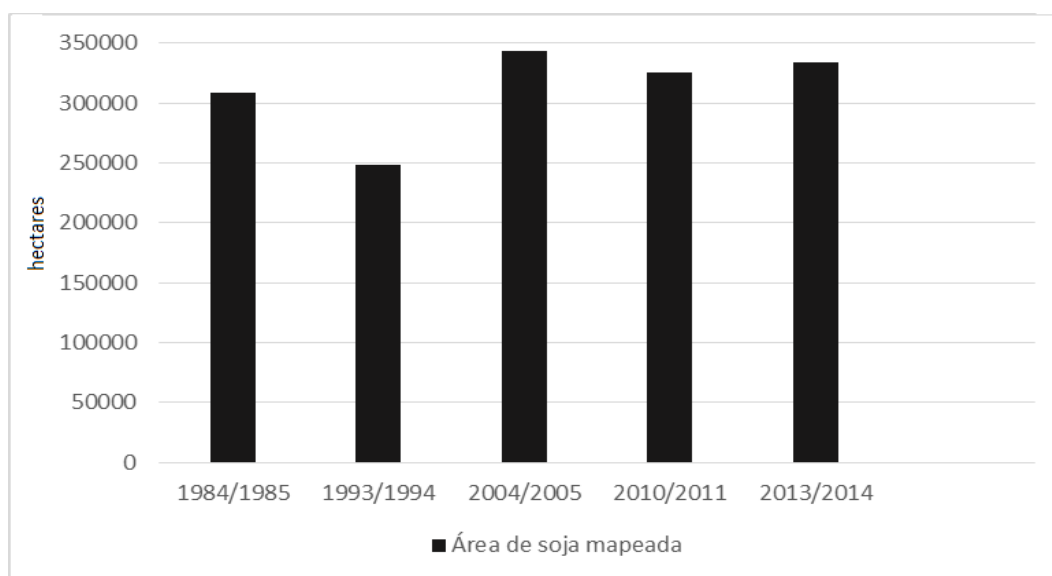


Figura 34 – Evolução da área semeada de soja mapeada e área estimada pelo IBGE em hectares nos períodos selecionados. Elaborado pelo autor, 2015.

Os dados aqui analisados permitem afirmar que a partir do período de 1984/1985 a área de soja apresentou oscilação tendo seu menor valor em 248.311,9 hectares, no período de 1993/1994 e o maior valor em 343.285,33 hectares em 2004/2005, representado uma variação de 38%.

De forma geral, as oscilações de área aqui observada em cada período estudado são explicadas pelas variações de condições climáticas que permitiam o avanço ou o recuo da cultura e também pelas condições econômicas da oleaginosa que poderiam torná-la economicamente mais atrativa ante as demais culturas

produzidas na região. Estes fatores permitem que a soja seja preferência na produção agrícola na região aumentando a sua área de produção.

Analisando os dados aqui representados, observa-se que no período de 1984/1985, a área de soja representava um pouco mais de 52% da soma da área de todos os municípios estudados. Em 1993/1994, com a leve diminuição da área semeada, a oleaginosa ocupou o total de 41,8% da área total. Na safra de 2004/2005, a área ocupada pela soja na região foi a maior com aproximadamente 58% do total. Em 2010/2011 a soja ocupou um pouco menos de 54,8% da área aqui abordada. Por fim, no período de 2013/2014 a soja teve uma representatividade de 56,2% de toda a área dos municípios.

Já para a vegetação nativa, as áreas apresentaram grande oscilação no decorrer dos anos aqui analisados. É importante destacar que a vegetação nativa foi perdendo área com o passar dos anos devido ao resultado de diversos tipos de ações antrópicas, sobretudo o avanço da fronteira agrícola. Na Figura 35 consta a evolução temporal da área em hectares da vegetação nativa ao longo dos períodos selecionados.

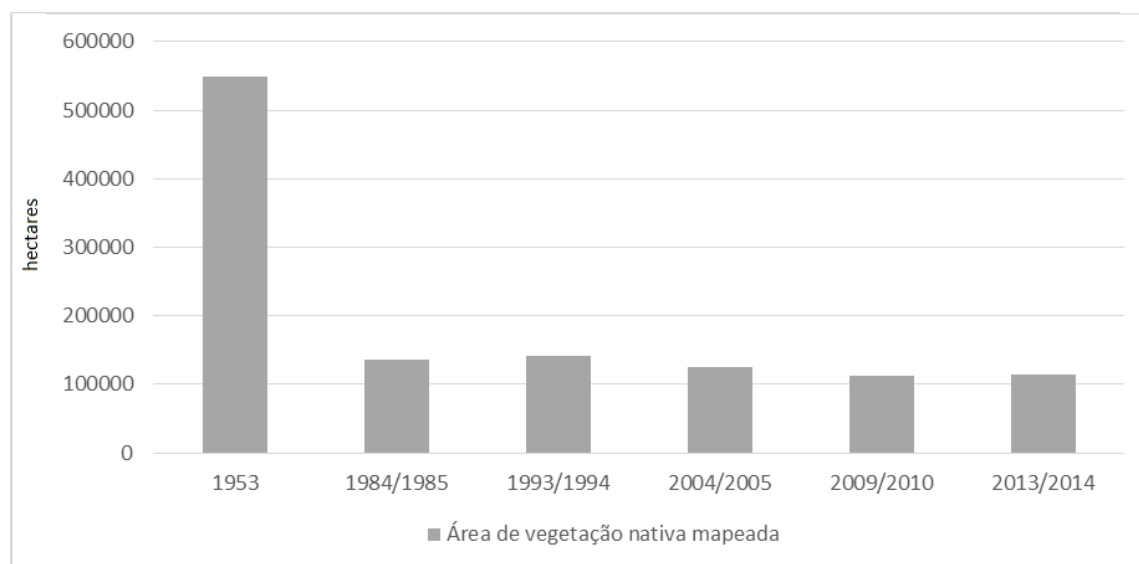


Figura 35 – Evolução da área de vegetação nativa em hectares nos períodos selecionados. Elaborado pelo autor, 2015.

A evolução da subtração da vegetação nativa se mostrou intensa a partir do mapeamento realizado em 1953. Neste ano, a vegetação ocupava mais de 90% da área de estudo. No mapeamento realizado no período de 1984/1985 a área total

sofreu uma drástica queda, passando para apenas 23% da área total de todos os municípios, mantendo essa tendência nos períodos seguintes. Para o período de 1993/1994 a vegetação nativa representava 23,8%, com leve aumento em relação ao mapeamento anterior. Esta oscilação ocorreu em função do mapeamento desse período ter sido executado em imagens que permitiram a maior identificação das áreas onde consta a assinatura espectral da vegetação nativa. No período de 2004/2005, a área destinada à vegetação nativa apresentou queda, com o valor de 21% da área total mapeada. Em 2010/2011 e 2013/2014, a tendência seguiu em baixa com os valores de 19% e 19,3% da área total estudada respectivamente.

De acordo com o que foi aqui abordado, mais da metade da área de estudo foi ocupada pela soja a partir do mapeamento do período de 1984/1985. A área semeada com soja superou demais culturas agrícolas produzidas na região, área urbana, vegetação nativa e demais formas de uso e ocupação dos solos existentes nos municípios selecionados. Isto sinaliza a importância da soja para a economia desses municípios, sendo a principal atividade executada em praticamente todos os períodos abordados nesse estudo.

Ressalta-se que o avanço da fronteira agrícola no Paraná, de acordo com Gubert (1993), esgotou-se em meados da década de 1970. Devido a este fato, não foi possível observar no estudo aqui apresentado, o avanço da cultura da soja e nem da diminuição da vegetação nativa no referido período.

A escassez de disponibilidade de imagens orbitais ou fotografias aéreas de qualidade, entre as décadas de 1950 e 1970, não permitiu que o mapeamento fosse realizado. Contudo, a tendência de queda da área da vegetação nativa e do aumento da área semeada de soja foi detectada nos mapeamentos realizados no presente trabalho.

Na figura 36 consta o mosaico de todos os mapas de área de soja e de vegetação nativa executados em todos os períodos selecionados neste trabalho.

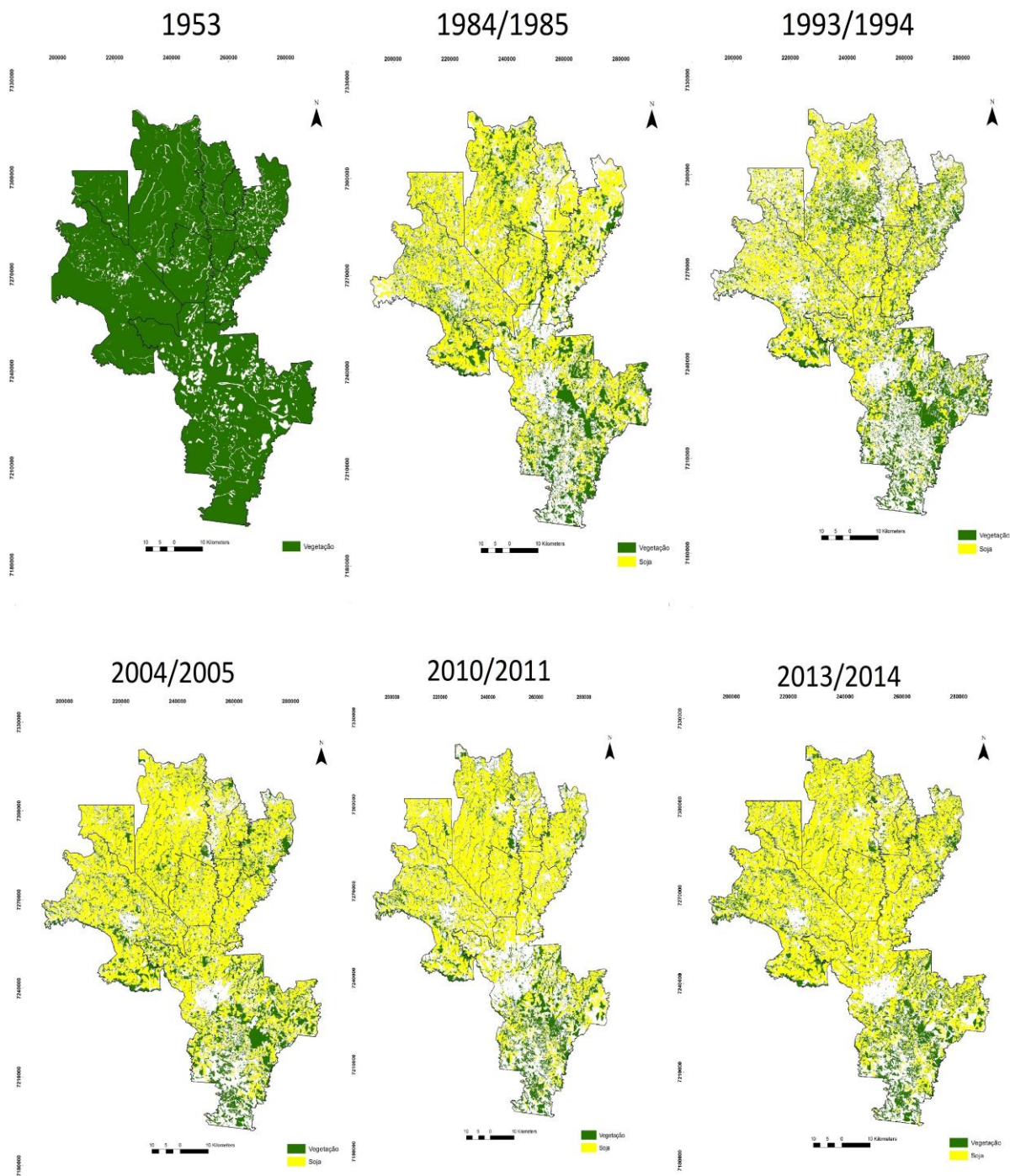


Figura 36 – Mosaico dos mapas de soja e vegetação nativa nos períodos selecionados. Elaborado pelo autor, 2015.

## CAPÍTULO 6

### 6. CONCLUSÕES

Como analisado, o uso das geotecnologias e seus aspectos multiespectrais e multitemporais, somado aos conhecimentos da área de estudo e das características físicas e agronômicas da cultura de grãos da região, permitiram que o mapeamento e a quantificação das áreas de soja e vegetação nativa nos municípios selecionados fossem executados.

Assim, foram elaborados mapas temáticos de caráter histórico-evolutivo para a análise do acompanhamento da área de soja e vegetação nativa. Identificou-se que esta metodologia pôde detectar o predomínio das áreas de soja e a baixa distribuição da vegetação nativa nos municípios selecionados.

A soja, que passou a ser produzida na região a partir da década de 1970, atualmente representa a principal atividade econômica desenvolvida por estes municípios, ocupando mais da metade de seu território. No somatório do primeiro período analisado, referente a safra de 1984/1985, a soja representava 52% na soma de todos os municípios selecionados. No período referente a safra de 2013/2014, a soja representou mais de 56% de toda área, sinalizando a intensa ocupação da oleaginosa na região.

Já a cobertura vegetal nativa, que em 1953 ocupava um pouco mais de 92% do território de todos os municípios analisados, no período de 2013/2014, passou a ter uma área um pouco superior a 19%. Sendo assim, de todo o mapeamento histórico da cobertura vegetal nativa aqui analisada, conclui-se que a área total mapeada apresentou um decréscimo de 435.085,98 hectares.

Boa parte de toda essa subtração da vegetação nativa aqui observada ocorreu devido a evolução da fronteira agrícola paranaense. Importante ressaltar que a intensificação do desmatamento não ocorreu em função somente da soja, mas sim principalmente dos demais tipos de uso e ocupação das terras que ocorreram anteriormente a oleaginosa.

A metodologia empregada neste estudo apresentou dados de área que foram comprovados pelo índice de precisão cartográfica de 95% obtido pelo método Ginevan. Desta forma, com a análise dos mapas aqui apresentados, conseguiu-se chegar a um valor de área de soja produzida relativamente próximo aos números divulgados pelos órgãos oficiais. Este fato corrobora que esta metodologia pode ser

uma opção para a contabilização dos dados de área semeada por soja, não só em escala local como foi apresentado, mas também podendo ser ampliada em escala regional e até nacional. Já os dados de vegetação nativa não puderam ser comparados com nenhum outro dado oficial, devido a inexistência dos mesmos.

Quanto à vegetação nativa, esta metodologia se torna uma possível alternativa para se identificar a sua distribuição e, neste caso, a sua substituição pelas atividades agrícolas devido à ação antrópica. Contudo, as limitações de resolução espacial das imagens *Landsat* não permitiram que o mapeamento fosse executado com maior grau de detalhamento devido aos fragmentos de vegetação nativa identificados na área de estudo. De qualquer forma, este trabalho sinalizou a intensa diminuição da área de vegetação nativa durante todo o período de exploração dos municípios aqui abordados.

No geral, a execução desta metodologia de mapeamento não necessita de grandes gastos financeiros, sendo que, a principal matéria prima de dados - que são as imagens *Landsat* - é fornecida gratuitamente pelo INPE. Além disso, no caso da soja, o tempo de execução do mapeamento e da quantificação das áreas pode ser bem menor que os atuais métodos utilizados pelo IBGE e demais entidades oficiais que também realizam a quantificação de áreas agrícolas no país. No caso do IBGE, por exemplo, as publicações dos dados de área plantada e colhida por município levam em torno de um ano para serem disponibilizadas. A implementação desta metodologia poderia fazer com que estes dados fossem divulgados com maior rapidez.

Por outro lado, esta metodologia também apontou alguns problemas na execução do mapeamento, principalmente a intensa cobertura de nuvens nas imagens orbitais, além da possibilidade de confusões na identificação dos alvos desejados.

Desta forma, o presente trabalho, tem grande contribuição, pois destaca uma alternativa de contabilização de áreas com cobertura vegetal, tanto das áreas agrícolas quanto nativas, através da implementação metodológica baseada na interpretação e o processamento digital de imagens orbitais e também pela interpretação de fotografias aéreas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMI, M. **Estimativa de áreas agrícolas por meio de técnica de sensoriamento remoto, geoprocessamento e amostragem**. 2003. 183 p. (INPE-10235-TDI/900). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos: 2003.
- ALMEIDA, C. A. **Estimativa da área e do tempo de permanência da vegetação secundária na Amazônia Legal por meio de imagens Landsat/TM**. 2009. 130 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos: 2009.
- ANDERSON, L. O. **Classificação e monitoramento da cobertura classificação e monitoramento da cobertura vegetal do Estado do Mato Grosso utilizando dados multitemporais do Sensor MODIS**. 2004. 247 p. (INPE-12290-TDI/986). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos: 2005.
- ARAUJO, T. S.; CRUZ, M. L. B.; MENDES, L. M. S. **Análise das formas de uso do solo e cobertura vegetal da APA da Serra da Meruoca/CE, através de imagem obtida por sensoriamento remoto orbital**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2013, Foz do Iguaçu, 2013. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013 p.23-25.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia dos trópicos**. São Paulo: Difel, 1998. 5a ed. 332 p.
- BARBOSA, K. M. do N. **Monitoramento espacial de biomassa e carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central**. 2006. 131 p. Tese (Doutorado Ciências Florestais) - Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006.
- BERKA, L. M. S. W.; RUDORF, B. F. T. **Estimativa de Área Plantada com Soja Através de Imagens Landsat em Municípios do Norte do Paraná**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2013. Belo Horizonte, Brasil, 2003. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2013 p.27-31.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Vozes, p. 351, 1977.
- BHATTACHARYA, C. G. **A simple method of resolution of a distribution in to Gaussian components**, **Biometrics**. Biometrics, Vol. 23, No. 1, 1967.
- BORGES, E. F. **Técnicas de segmentação de imagens e classificação por região: mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo, Mucugê-BA**. Mercator, v. 8, n. 17, p. 209-220, 2009.
- BOWKER, D. E. et al. **Spectral reflectances of natural targets for use in remote sensing studies**. Hampton: NASA, 1985.

BRAUN, M. B. S.; STADUTO, J. A. R.; SARACINI, T. **Política Comercial e a Inserção Brasileira e Paranaense no Mercado Agrícola Internacional**. In: CUNHA, M. S.; SHIKIDA, P. F. A.; ROCHA JÚNIOR, W. F. *Agronegócio Paranaense: Potencialidades e Desafios*. Cascavel: **Edunioeste**, 2002.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA. Indicadores de preços. Disponível <http://www.cepea.esalq.usp.br>. Acesso em 17 jul. 2015.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. INPE. São José dos Campos, 1996. 39p.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Princípios Básicos em Geoprocessamento**. In: Assad, E.D.; Sano, E.E. **Sistema de Informações Geográficas - Aplicações na Agricultura**. Brasília: EMBRAPA-SPI/EMBRAPA Cerrados, 2 ed. 1998, 434p.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. C. P. **SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling**. *Computers and Graphics*. v. 15, n. 6, p. 13-22, 1996.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to Remote Sensing**. New York: Guilford Press, 1987, 550 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Levantamento de safras**. Disponível em [www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br). Acesso em 28 mai. 2015.

COSTA, J. A. **Cultura da soja**. Porto Alegre: Evangraf, 1996. 233 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. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônomas. Universidade Estadual Paulista, Botucatu: 2001.

DEBIASE, P.; SOUZA, S. F.; MITISHITA, E. A.; ROLIM, S. B. A.; **Correções e Avaliações Geométricas de Imagens CCD – CBERS 2**. II Seminário Anual de Pesquisas em Geodésia na UFRGS, 2007.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Programa nacional de pesquisa de soja**. Brasília, 1981. 115 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção da Informação, 1999. 412p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja** – Região centro-sul do Brasil. s/l, 2003. Disponível em [www.cnpso.embrapa.br](http://www.cnpso.embrapa.br). Acesso em 30 abr. 2014.

FAO. **Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura**. The State of Food Insecurity in the World 2014. Disponível em



<http://www.fao.org/publications/sofi/en/>. Acesso em: 13 mai. 2015.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER. **Ecofisiologia**. Embrapa Soja, Londrina: 2000.

FAS/USDA. **Foreign Agricultural Service/United States Department Agriculture**. Disponível em [www.fas.usda.gov](http://www.fas.usda.gov). Acesso em 30 abr. 2014.

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

FONSECA, L. M. G. **Registro Automático de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 1999. 219 p. (INPE - 7502- TDI/717). Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-SP, 1999.

GALLEGO, F.J., **Remote sensing and land cover area estimation**. International Journal of Remote Sensing, v. 25, n. 15, August 2004, p. 3019-3047(29).

GANAN, J. R.; ROCHA, J. V.; MERCANTE, E.; ANTUNES, J. F. G. **Mapeamento da cultura da soja com imagens Landsat 5/TM utilizando algoritmos de classificação supervisionada**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XII., **Anais...** Goiania, 2005.

GINEVAN, M. E. Testing Land-Use Map Accuracy: Another Look. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 45, n. 2, 1979, p. 167-176.

GOOGLE. Google Earth **website**. <http://earth.google.com/>, 2009. Acesso em 30 abr. 2014

GUBERT FILHO, F. A. **Levantamento de Áreas de Relevante Interesse Ecológico no Estado do Paraná**. Anais do II Congresso Florestal do Paraná - Instituto Florestal do Paraná, 136 -160, Curitiba, 1988.

\_\_\_\_\_. **O Desflorestamento do Estado do Paraná em Um Século**. Anais da Conferência do Mercosul sobre Meio Ambiente e Aspectos Transfronteiriços. Curitiba: Instituto Ambiental do Paraná, 1993.

Hay, A.M. **The derivation of global estimates from a confusion matrix**. International Journal of Remote Sensing, v. 9, n. 8, p. 1395-1398, 1988.

HOFFMAN, R. **Pobreza, insegurança alimentar e desnutrição no Brasil**. Estud. av. v. 9, n. 24. São Paulo Mai/Ago, 1995.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Levantamento Sistemático da produção agrícola**. Disponível em [www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br). Acesso em 05 ago. 2015.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Cidades**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat>. Acesso em 28 abr. 2014.

Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG). Disponível em <http://www.itcg.pr.gov.br/>. Acesso em 26 ago. 2015.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal>. Acesso em 26 ago. 2015.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote sensing and image interpretation**. 4. ed. Madison: University of Wisconsin, 1999, 750 p.

LOHMANN, M.; MARTINI, L.; DEPPE, F.; **Monitoramento da evolução temporal da cultura da soja no estado do Paraná utilizando imagens do sensor MODIS**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Abril, 2007. Florianópolis, SC, **Anais...** 2007.

LOPES, G. O.; RIBEIRO, C. F. D. A.; SILVA, W. B. **Mapeamento das fitofisionomias de cerrado da Reserva Biológica da Contagem, DF, por meio de sensoriamento remoto**. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal: INPE, 2801-2807, 2009.

LORENSINI, C. B.; VICTORIA, D. C.; VICENTE, L. E.; MAÇORANO, R. P., 2015. **Mapeamento e identificação da época de desmatamento das áreas de expansão da agricultura no Matopiba**. **Anais...** do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa, PB, Brasil. 3542 – 3548, 2015.

MA, Z.; REDMOND, R. L. **Tau coefficient for accuracy assessment of classification of remote sensing data**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Bethesda, v. 61, n. 4, p. 435-439, Apr. 1995.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná e Instituto de Biologia e Pesquisa Tecnológica, 1981.

MARCHETTI, D.B; GARCIA. G.J. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. Editora Nobel, São Paulo: 1977.

MARTÍNEZ, J. A. V. **Classificação de uma imagem landsat 7 para fins de atualização cartográfica na escala 1:100.000**. Rio de Janeiro, RJ. 2003. Disponível em <http://www.cartografia.ime.eb.br/trabalhos>. Acesso em 28 abr.2015.

MERCANTE. E. **Dinâmica espectral da Cultura da Soja ao longo do Ciclo Vegetativo e sua relação com a Produtividade na região Oeste do Paraná**. 2007. 241 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas: 2007.

MINEROPAR - **Atlas geomorfológico** 2006. Disponível em

<http://www.mineropar.pr.gov.br>. Acesso em 18 mar. 2009.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 250 p.

MOREIRA, M.A. **Sistema de amostragem para estimar a área da cultura do trigo (*Triticum aestivum*, L) através de dados do Landsat**. 1983. (INPE-3015-TDL/150). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1983.

MONTEIRO, A. L., LINGNAU, C., & SOUZA Jr., C. **Avaliação de imagens Landsat para o monitoramento do manejo florestal na Amazônia**. Scientia Forestalis, 75, 95-104, 2007.

MATHER, P.M. **Computer Processing of Remotely-sensed Images: an introduction**. 2 ed. London: John Wiley & Sons, 1999. 210 p.

MOREIRA, M. A.; AULICINO, L. C. M.; SHIMABUKURO, Y. E; DUARTE, V.; RUDORFF, B. F. T.; YI, J. L. R.; SOUZA, I. M.. **Modelo de Mistura Espectral para Identificar e Mapear Área de Soja e Milho em Quatro Municípios do Estados de Minas Gerais**. Anais do IX Anais do XI SBSR, Santos, Brasil, 11-18 Setembro de 2005, INPE, p.53-57.

NASA. **National Aeronautics and Space Administration**. Disponível em <http://www.nasa.gov/centers/goddard/home/index.html>. Acesso em 28 abr. 2014.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto. Princípios e Aplicações**. 2ª edição. Edgard Blucher, São Paulo: 2002.

PILACHEVSKY, T. **Zoneamento geoambiental do município de São João da Boa Vista (SP)**. 2013. 183 p. Dissertação (Mestrado) - UNESP, IGCE/ Rio Claro, 2013. Disponível em <http://repositorio.unesp.br/handle/11449/92827>. Acesso em 03 jul. 2015.

QUEIROZ, C, J, de. **Análise de Transformações Geométricas para o Georreferenciamento de Imagens do Satélite CBERS-I**. 2003. Dissertação (Mestrado)-UFRGS-CEPSRM, 2003. Disponível em [www.ufrgs.br/srm/DissertaçõesPos/A18.html](http://www.ufrgs.br/srm/DissertaçõesPos/A18.html). Acesso em 05 ago. 2015.

RIZZI, R. **Geotecnologias em um Sistema de Estimativa da Produção de soja: Estudo de Caso no Rio Grande do Sul**. 2004. 212 p. Tese Doutorado (Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.

RIZZI, R. RUDORF, B. F. T.; FREITAS, R. M.; FONTANA, D. C. **Monitoramento e Estimativa da Produtividade de Soja Auxiliados pelo Modelo Regional de Previsão de Tempo ETA**. Revista Ambi-Água, Taubaté, v.1, n. 2, p. 28-38, 2004.

SPRING: **Integrating Remote Sensing and GIS by Object-oriented Data Modelling**. Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J. Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

RODRIGUES, A. S. **Histórico da ocupação econômica do Paraná**. In: IAPAR, Londrina, PR. A Produção animal na agricultura familiar do centro-sul do Paraná. Londrina, 1994. p.7-12 (IAPAR. Boletim Técnico, 42).

ROSA, R. - **Introdução ao Sensoriamento Remoto** - EDUFU- 1995 URGS - United States Geological Survey. **Landsat Project**. Disponível em <http://landsat.usgs.gov>. Acesso em 12 set. 2013.

Sanches, I.D.A.; Epiphanyo, J.C.N.; Formaggio, A.R. **Culturas agrícolas em imagens multitemporais do satélite Landsat**. Agricultura em São Paulo, São Paulo, v. 52, n. 1, p. 83-96, jan./jun. 2005.

SCHMIDTKE, C. R.; BRAUN M. B. S. **A agricultura brasileira no comércio internacional: o caso do Paraná**. Anais do XLIII Congresso da SOBER - Ribeirão Preto-SP, Brasil, Junho 2005.

SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M. G.; SEDYIAMA, C.S.; GOMES, J.L.L. **Cultura da soja: I Parte**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa Viçosa - Minas Gerais, 1996. 96 p.

SHIMABUKURO, Y. E.; MELLO, E. M. K.; MOREIRA, J. C.; DUARTE, V. **Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia**. São José dos Campos: INPE, 1997, 16 p. (INPE-6147-PUD/029).

SHIMABUKURO, Y. E., NOVO, E.M., PONZONI, F.J. **Índice de vegetação e Modelo Linear de Mistura Espectral no monitoramento do Pantanal**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.33, Número Especial, p.1729-1739, out. 1998.

SILVA JUNIOR, C. A.; FRANK, T.; RODRIGUES, T. C. S. Discriminação de áreas de soja por meio de imagens EVI/MODIS e análise baseada em geo-objeto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 44-53, 2014.

SILVA, L. C. de A.; GRZEGOZEWSKI, D. A.; JOHANN, J. A.; PALOSCHI, R. A.; JÚNIOR, C. C., 2015. **Estimativa de área plantada com soja e milho, safra 2013/2014, no Oeste paranaense utilizando um mapa de alvos permanentes**. **Anais...** do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa, PB, Brasil. 4270-4277.

TEIXEIRA, W. **Vulcanismo: produtos e importância para a vida**. In: Decifrando a terra. Organizadores: Teixeira, W., Toledo, M.C.M., Fairchild, T.R., Raioli, F. São Paulo: Oficina de textos, 2003. 558p.

VALERIANO, D. M. **Processamento digital de dados do MS-Landsat aplicado ao mapeamento da cobertura da terra da planície costeira do rio Tubarão, S.C.: metodologia e estimativa de exatidão de classificação**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José

dos Campos: 1985.

WOLF, P. R.; **Dewitt B. A. Elements of Photogrammetry: With Applications in Gis.** McGraw-Hill Companies. 2000.

## **BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

ALMEIDA, M. L. P. Tipos de pesquisa. In: \_\_\_\_\_. **Como elaborar monografias.** 4. ed. rev. Atual. Belém: Cejup, 1996. c. 4, p. 101-110.

BARROS, M.G.M.; LUIZ, A.J.B.; EPIPHANIO, J.C.N. **Segmentação multitemporal de imagens em áreas agrícolas.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., 2001, Foz do Iguaçu, 2001. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 23-25. 1 CD-ROM.

FONTANA, D. C.; WEBER, E.; DUCATI, J.; FIGUEIREDO, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. **Previsão da Safra de Soja no Brasil: 1999/2000.** In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 12 e Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 3 Fortaleza, 2001. **Anais.** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001, p585-586.

LAKATOS, E. M; MARCONI, A. M. **Metodologia Científica.** São Paulo: Atlas, 1991.

LIU, W.T.; KANAZAWA, P; SANTIAMIE.; KANAZAWA, P. J., 2005. **Impacto de desmatamento na mudança climática regional via satélite.** **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto,** São Jose dos Campos, SP, Brasil. 593-600.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M.. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 206p.

MUELLER, C. C. & BUSTAMANTE, M. **Análise da expansão da soja no Brasil.** s/l,abr. 2002. Disponível em [www.worldbank.org/rfpp/news/debates/mueller.pdf](http://www.worldbank.org/rfpp/news/debates/mueller.pdf). Acesso em 10 out. 2010.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico.** 22. ed. rev. e ampl. São Paulo: Cortez, 2002.

VILELA, T.A. 2009. **Monitoramento do desmatamento e seus impactos nas mudanças climáticas na bacia do Rio Turvo Sujo.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG: 2009.