

DIEGO AUGUSTO GUIGUER BOCCIA

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE SOJA CULTIVADA EM ÁREAS DE
PASTAGEM DEGRADADAS DO CERRADO DO ESTADO DE SÃO PAULO
VISANDO A OBTENÇÃO DE BIODIESEL**

São Paulo

2019

DIEGO AUGUSTO GUGUER BOCCIA

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE SOJA CULTIVADA EM ÁREAS DE
PASTAGEM DEGRADADAS DO CERRADO DO ESTADO DE SÃO PAULO
VISANDO A OBTENÇÃO DE BODIESEL**

**Monografia apresentada ao Programa
de Educação Continuada da Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo – PECE, como parte dos
requisitos para a obtenção do título de
Especialista em Energia Renovável,
Geração Distribuída e Eficiência
Energética**

São Paulo

2019

DIEGO AUGUSTO GUGUER BOCCIA

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE SOJA CULTIVADA EM ÁREAS DE
PASTAGEM DEGRADADAS DO CERRADO DO ESTADO DE SÃO PAULO
VISANDO A OBTENÇÃO DE BIODIESEL**

**Monografia apresentada ao Programa
de Educação Continuada da Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo – PECE, como parte dos
requisitos para a obtenção do título de
Especialista em Energia Renovável,
Geração Distribuída e Eficiência
Energética**

**Área de concentração: Biodiesel, Soja,
e Pastagem Degradada**

Orientador: Prof. Dr. Patrícia Matai

São Paulo

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte

Catálogo-na-publicação

Boccia, Diego Augusto Guiguer

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE SOJA CULTIVADA EM ÁREAS DE
PASTAGEM DEGRADADAS DO CERRADO DO ESTADO DE SÃO PAULO
VISANDO A OBTENÇÃO DE BIODIESEL / D. A. G. Boccia -- São Paulo, 2019.
57 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída
e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Biodiesel 2.Soja 3.Pastagem degradada I.Universidade de São Paulo.
Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia
II.t.

RESUMO

O Brasil vem enfrentando problemas quanto a degradação de pastagem, cerca de 170 milhões de hectares do território nacional estão nessas condições. O uso de ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e técnicas de geoprocessamento permitem detectar níveis de degradação através de medições e dados consistentes. Neste trabalho, objetivou-se conseguir um quantitativo de produção de biodiesel, utilizando hipoteticamente o plantio de soja em áreas degradadas no Cerrado no Estado de São Paulo, e identificar alguns aspectos ambientais desta ação. Para isso, o estudo se embasou nas pesquisas elaboradas pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) do Projeto GeoDegrade. Também foi usado de maneira satisfatória para análise das imagens, o programa eCogniton e posteriormente o ArcGis 10.3. Como resultado foram classificadas como áreas de pasto degradado cerca de 1,3 milhões ha, nos quais se utilizados para a produção de soja e posteriormente de biodiesel, alcançaria uma produção de aproximadamente 517 milhões de litros do biocombustível. Entretanto, o Estado de São Paulo não possui capacidade para suportar tal produção.

Palavras-chave: Biodiesel. Soja, Energias renováveis. Pastagem degradada.

ABSTRACT

Brazil has been facing problems regarding grazing degradation, about 170 million hectares of the national territory are under these conditions. The use of Geographic Information System (GIS) tools and geoprocessing techniques allow detection of degradation levels through consistent measurements and data. The objective of this work was to obtain a quantitative biodiesel production using hypothetical soybean plantation in degraded areas in the State of São Paulo, and to identify some environmental aspects of this action. For this, the study was based on the research developed by EMBRAPA (Brazilian Agricultural Research Company) called GeoDegrade Project. It was also used satisfactorily for image analysis, the eCognition program and later ArcGis 10.3. As a result, about 1.3 million ha were classified as areas of degraded pasture, in which, if used to produce soybeans and subsequently for biodiesel, it would reach a production of approximately 517 million liters of biofuel. However, the State of São Paulo does not have the capacity to support such production.

Keywords: Biodiesel. Soybeans, Renewable energy. Degraded pasture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção nacional anual de biodiesel entre os anos 2005 e 2019. Adaptado de ANP, 2019.....	23
Figura 2 – Produção nacional anual de biodiesel dividida por regiões. Adaptado de ANP, 2019.....	24
Figura 3 – Produção de Biodiesel no Estado de São Paulo. Adaptado de ANP, 2019	25
Figura 4 – Usinas de biodiesel no Estado de São Paulo. Adaptado de ANP, 2019.	26
Figura 5 - Produção de soja no Brasil dividida por regiões. Fonte: CONAB, 2019	27
Figura 6 - Representação esquemática dos cruzamentos geoespaciais propostos. Fonte: EMBRAPA, 2019	37
Figura 7 - Cerrado paulista em destaque. Fonte: Autor	42
Figura 8 – Plataforma GeoDegrade. Fonte: EMBRAPA, 2019.....	43
Figura 9 – Imagem exportada da Plataforma GeoDegrade. Fonte: EMBRAPA, 2019	43
Figura 10 – Em destaque, parâmetro de escala utilizado nas análises da imagem. Fonte: Autor.....	44
Figura 11 – Polígonos classificados no software eCognition. Fonte: Autor.....	45
Figura 12 – Análise da imagem no software ArcGis 10.3. Fonte: Autor	45
Figura 13 – Áreas de pasto saudáveis, em verde, e pasto degradado, em vermelho, no cerrado no Estado de São Paulo. Fonte: Autor	46
Figura 14 – Mapa, em escala, com áreas de pasto classificadas como degradadas, em vermelho, e saudáveis, em verde. Fonte: Autor.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de biodiesel no ano de 2018 no mundo. (Fonte: REN21, 2018)	19
--------------------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
EMPRAPA	Empresa Brasileiro de Pesquisa Agropecuária
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
EVI	Enhanced Vegetation Index
IV	Índice de Vegetação
NASA	National Aeronautics and Space Administration
ESE	Earth Science Enterprise
MODIS	Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer
EOS	Earth Observing System
IAF	Índice de Área Foliar
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
SIG	Sistema de Informação Geográfica
OBIA	Object-Oriented Image Analysis
APROBIO	Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil
FAME	Fatty Acid Methyl Ester
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil
HEFA	Hydrotreated Esters and Fatty
USDA	United States Department of Agriculture

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
APROBIO	Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil
ABIOVE	Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais
FBN	Fixação biológica de nitrogênio
GEE	Gases do efeito Estufa

LISTA DE SIMBOLOS

m ³	metros cúbicos
.jpeg	formato de compressão de imagens fotográficas
.tiff	formato de arquivo raster para imagens digitais
ha	hectares
kg	quilograma
ton	tonelada
N ₂	nitrogênio
cm ³	centímetro cúbico
g	grama
km ²	quilometro quadrado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. BIODIESEL	15
2.1.1. BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL E NO MUNDO	17
2.2. SOJA.....	27
2.3. DEGRADAÇÃO DA PASTAGENS NO BRASIL.....	30
2.4. GEOPROCESSAMENTO	38
3. MATERIAIS E MÉTODOS	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
5. CONCLUSÃO	50
BIBLIOGRAFIA	51

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho reflete uma pesquisa exploratória a respeito do potencial de produção de soja em áreas de pastagem degradadas no Estado de São Paulo para a produção de biodiesel. Sendo o biocombustível proveniente da soja por seu mercado consolidado e seu crescimento significativo observado ao longo dos anos no Brasil e também pelas suas propriedades de recuperação do solo a partir da fixação do nitrogênio.

Embora o termo “biodiesel” tenha surgido na década 80, sua utilização remonta o final do século XIX, quando pesquisas foram iniciadas com o intuito de utilizar diferentes combustíveis em motores na indústria automobilística (SUAREZ; MENEGHETTI, 2007).

Apesar de apenas em 2005 o Brasil introduzir, por meio da Lei nº 11.097 (BRASIL, 2005), o biodiesel na sua matriz energética, desde a década de 1920, o Brasil vem desenvolvendo pesquisas sobre a utilização de óleos vegetais como combustível, que foram intensificadas após os choques do petróleo em 1973 e 1979.

Neste sentido, o Brasil tem se apresentado como um dos maiores produtores de biodiesel no mundo. Em um contexto econômico social no qual o ideal é a utilização da tecnologia em prol da sustentabilidade e diminuição da poluição, o combustível em comento é considerado por alguns como o combustível do futuro, especialmente pela latente escassez de petróleo e seu valor que se tornará impraticável.

No que diz respeito às pastagens, trata-se de ferramenta pecuária disseminada pelo país graças aos seus baixos custos de manutenção para produção de carne. No entanto, trata-se também, em grande parte, como se apresentará aqui, de atividade improdutiva e essencialmente danosa ao meio ambiente caso não sejam usadas técnicas de mitigação necessárias.

O processo para recuperação de áreas degradadas demanda investimentos altos por se tratar de um processo complexo. Uma solução que tem sido adotada é a utilização de tais áreas para produção de culturas anuais de leguminosas,

como a soja (objeto deste trabalho), de modo a permitir que seus proprietários consigam viabilizar sua produção, recuperar o solo e obter retorno econômico com a venda dos grãos.

Neste contexto, com base em dados estatísticos, da literatura científica e acadêmica e uso de técnicas de geoprocessamento, pretende-se com esta pesquisa descrever sobre a situação atual das pastagens degradadas, limitadas ao bioma do cerrado paulista, e suas recuperações por meio do cultivo de soja, sendo tal providência uma potencial estratégia para aumento da produção de biodiesel.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. BIODIESEL

De acordo com a Legislação Federal, nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, o biodiesel é “um combustível derivado de biomassa renovável para a utilização em motores de combustão interna por ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil” (BRASIL, 2005).

De forma complementar, dispõe a cartilha elaborada pelo Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), que o biodiesel é amplamente conhecido como uma “energia renovável”, justamente por tratar-se de um “combustível biodegradável derivado de fontes renováveis, que pode ser produzido a partir de gorduras animais ou de óleos vegetais” (MAPA, 2011).

Sua produção advinda de óleos vegetais pode ser fruto de dezenas de espécies brasileiras, tais como girassol, soja, mamona, dendê, canola, gergelim, entre outras. (MAPA, 2011)

É possível observar definição similar no conteúdo do Relatório de Status Global produzido em 2018 pela Renewable Energy Policy Network (REN21), no qual o biodiesel é descrito, em tradução livre, como um combustível produzido a partir de culturas de sementes oleaginosas, como a óleo de palma, a soja, a colza (canola), e de outras fontes de petróleo, como resíduos de óleo de cozinha e gorduras animais, sendo usado em motores a diesel instalados em carros, caminhões, ônibus e outros veículos, bem como em aplicações estacionárias de geração calor e energia (REN21, 2018).

O combustível em comento tem a capacidade de substituir, de modo parcial ou por inteiro, o óleo diesel de petróleo voltado para motores de veículos ou até mesmo aqueles utilizados nos geradores de energia (motores estacionários). Quando utilizado totalmente puro, denomina-se B100 e, quando utilizado em conjunto com petróleo, é chamado de B11 (REN21, 2018). A partir de junho de 2019, o governo estabeleceu que a porcentagem atual de biodiesel no diesel em todo o Brasil seria de 11%, por isso denominado B11.

Sua mistura com óleo diesel é viabilizada por possuir as seguintes características (GAURIEIRO; TORRES; DANDRADE, 2012):

- (i) é livre de compostos sulfurados e aromáticos;
- (ii) não é tóxico nem corrosivo; e
- (iii) não contribui para a intensificação do efeito estufa.

As características supramencionadas levam a concluir que a substituição do óleo diesel produzido a partir do petróleo, que é um grande vetor de redução das emissões de diversos poluentes (monóxido de carbono, enxofre, entre outros) e no combate ao efeito estufa. Entretanto, único ponto negativo seria o aumento de 10% de emissão de (NOx), se comparado a utilização do diesel como combustível.

Além do impacto ambiental, segundo a cartilha institucional do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel, a produção de biodiesel tem trazido reflexos positivos econômicos e sociais para o Brasil, em âmbito nacional e internacional, a saber (MAPA, 2011):

- (i) Ajuda a diversificar a matriz energética brasileira, que passou a ser referência mundial pelo uso de energias renováveis;
- (ii) Reafirma o protagonismo do Brasil com relação ao meio ambiente e mudanças climáticas;
- (iii) Menos exportação de grãos in natura e menor compra de óleo diesel de outros países;
- (iv) Gera trabalho e renda, tanto no campo, quanto na fábrica, por desenvolver novas oportunidades de trabalho e geração de renda na agricultura familiar, estimulando a inclusão social em todas as regiões do país.

Feitos esses esclarecimentos preliminares a respeito do biodiesel, passa-se a discorrer sobre o uso de biocombustíveis no mundo e os reflexos do biodiesel no Brasil e no estado de São Paulo.

2.1.1. BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL E NO MUNDO

Nada obstante o foco do presente trabalho ser o Biodiesel, também trataremos a seguir da relevância dos biocombustíveis, de forma geral, para a matriz energética em contexto global.

Isto porque, os temas são intrínsecos, já que o mundo produz hoje muito menos biodiesel do que outros biocombustíveis, a saber, o etanol, onde produção está localizada em grande parte no Brasil e nos EUA, a produção de biodiesel está partilhada por diversos países pelo mundo, com regras e legislação própria e estratégia comercial elaborada por cada um deles, conforme exposto a seguir.

Essa proliferação pelos continentes facilita a entrada do produto na lista de commodities mundiais, favorecendo o desenvolvimento de seu mercado em uma escala global (RODRIGUES, 2014)

De um modo geral, o mercado global de biocombustíveis deve continuar avançando, mas a um ritmo mais baixo do que no passado. Isto se deve aos fatos de que os preços mais baixos do petróleo tornaram os biocombustíveis menos competitivos e que muitos países que já possuem políticas de biocombustíveis também se mostram avessos a novos incrementos a medida em que têm dificuldades em ampliar a produção de matérias-primas. (RODRIGUES, 2018)

O mercado deverá permanecer concentrando nos Estados Unidos, Brasil e União Europeia. Entretanto, a China, Argentina, Tailândia, Canadá e Indonésia devem manter o crescimento, mas sem disputar a liderança. Apesar de, segundo o Relatório RENEWABLES 2018 GLOBAL STATUS, a produção de biocombustível aumentou 2.5% em 2017, sendo que os Estados Unidos e o Brasil continuam na posição de principais produtores mundiais de etanol e biodiesel (REN21, 2018).

Vários países buscam integrar melhor as soluções renováveis em seus setores de transporte. Por exemplo, na Europa, 10% dos combustíveis de transporte consumidos em cada estado membro da UE devem vir de fontes renováveis até

2020. Se o objetivo proposto de energia renovável na Europa for adotado, este será aumentado para 14% até 2030 (REN21, 2018).

As políticas para promover as energias renováveis no setor de transportes continuam a se concentrar principalmente no transporte rodoviário. Outros subsetores, como o transporte ferroviário, a aviação e a navegação, atraíram comparativamente menos atenção política, apesar de também serem grandes consumidores de energia.

Os combustíveis renováveis e a mobilidade elétrica, a partir de fontes renováveis, podem diminuir a dependência de combustíveis fósseis e, juntamente com a promoção da eficiência de combustível, transporte público ou opções inteligentes de planejamento para reduzir as necessidades de transporte, podem fornecer uma via para aumentar a segurança energética nacional e reduzir a poluição atmosférica local (RODRIGUES, 2018).

A principal medida para que os países instituem uma política de adoção de energia renovável por meio de edição de Decretos que determinam de mistura de biocombustível continuam sendo um dos mecanismos mais amplamente adotados para aumentar o uso de combustível renovável no setor de transporte rodoviário. Esse tipo de legislação prevalece em todas as regiões geográficas e países em todos os níveis de desenvolvimento econômico.

A produção e o uso de biocombustíveis são muito concentrados geograficamente, com mais de 80% da produção e do uso ocorrendo nos Estados Unidos, Brasil e União Europeia. Em 2017, a produção mundial de biocombustíveis cresceu cerca de 2,5% em relação a 2016, atingindo 143 bilhões de litros. Os Estados Unidos e o Brasil continuaram sendo os maiores produtores de biocombustíveis, seguidos pela Alemanha e depois pela Argentina, China e Indonésia, conforme demonstra Tabela 1 fornecida pelo Relatório de Status Global produzido em 2018

Países	Etanol	Biodiesel (FAME)	Biodiesel (HVO)	Diferença para 2018
	Bilhões de litros			
Estados Unidos	60	6	1,7	1,7
Brasil	28,5	4,3		0,3
Alemanha	0,9	3,5		0
Argentina	1,1	3,3		0,5
China	3,3	1		0,2
França	1	2,3		-0,3
Tailândia	1,5	1,4		0,5
Indonésia	0,1	2,5		-0,3
Canadá	1,7	0,5		0,1
Holanda	0,3	0,4	1,3	0,1
Espanha	0,5	1,3		-0,2
Polónia	0,2	1		0
Singapura	0,1	0	1,3	0,1
Índia	0,8	0,2		-0,2
Colômbia	0,3	0,6	3,5	0
EU-28	4,1	11,8	6,5	-0,3
Total	105,5	30,7	6,5	3,5

Tabela 1 - Produção de biodiesel no ano de 2018 no mundo. (Fonte: REN21, 2018)

É nítido que a produção de etanol no mundo se manteve mais expressiva do que a produção de outros biocombustíveis. Estima-se que entre 2007 e 2017, 65% da produção de biocombustível (em termos de energia), foi etanol. Outros 29% foi o biodiesel FAME (Fatty Acid Methyl Ester) que, em português, é conhecido como éster metílico de ácido graxo extraído de óleo vegetal, como soja, girassol, palmas, entre outros. Os outros 6% foram HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) / HEFA (Hydrotreated Esters and Fatty), que também são produzidos a partir de óleo vegetal, entretanto são produzidos utilizando a técnica de hidroprocessamento que impede emissão de aromáticos, oxigênio e enxofre (AATOLA; SARJOVAARA, 2008).

Nota-se que a produção de biodiesel é mais diversificada geograficamente do que a produção de etanol e é distribuída entre muitos países. Embora a Europa tenha sido a região de maior produção em 2017, os principais países produtores de biodiesel foram os Estados Unidos (16% da produção mundial), Brasil (11%), Alemanha (9%), Argentina (9%) e Indonésia (7%). A produção global de biodiesel cresceu em torno de 1%, atingindo 36,6 bilhões de litros em 2017. O aumento deveu-se principalmente aos aumentos nos Estados Unidos, onde a produção

cresceu 1,6% para 6 bilhões de litros em resposta às melhores oportunidades de biodiesel no RFS.75 A produção de biodiesel no Brasil aumentou 13% em 2017 para atingir um recorde de 4,3 bilhões de litros, com o nível de mistura de biodiesel no diesel subindo para 9% (REN21, 2018).

A produção, o consumo e o comércio de biocombustíveis são afetados por diversos fatores, incluindo as condições de crescimento nos países produtores, a política e os ambientes de mercado, bem como as tarifas de importação e outras medidas que afetam o comércio internacional.

Ainda segundo o Relatório RENEWABLES 2018 GLOBAL STATUS, a energia para o setor de transporte representa quase um terço do consumo total de energia final globalmente.

O setor de transporte é composto de vários subsetores, incluindo transporte rodoviário (urbano, de longa distância, frete), marítimo, aéreo e ferroviário. Apesar dos ganhos de eficiência, a demanda global de energia no setor de transporte aumentou 39% entre 2000 e 2016, um aumento atribuído ao aumento do movimento global de mercadorias e ao aumento geral na demanda por transporte em países emergentes e em desenvolvimento, entre outros fatores. (REN21, 2018).

Os biocombustíveis (principalmente etanol e biodiesel) contribuem muito para o transporte renovável, porém de uma maneira pouco significativa fornecendo 2,8% do consumo mundial de energia para o transporte (a partir de 2015). A produção global de etanol aumentou 2,5% em 2017 em comparação a 2016 e a produção de biodiesel permaneceu relativamente estável, após um aumento de 9% em 2016. (REN21, 2018)

Verifica-se que o crescimento no uso de biocombustíveis é lento, retido pelas incertezas políticas relacionadas à sustentabilidade das matérias-primas e pelo progresso lento na apresentação de novas tecnologias capazes de produzir combustíveis para mercados como a aviação.

O transporte rodoviário responde por 67% do uso global de energia no transporte, com veículos de passageiros representando dois terços desse total. (REN21, 2018).

A seguir, são elencadas as tendências regionais relacionadas à energia renovável no transporte rodoviário durante 2017 (REN21, 2018):

Na Ásia, a produção de biocombustíveis na região aumentou 2,4% em 2017, bem abaixo do aumento de mais de 12% observado em 2016. Vários países asiáticos permanecem entre os 15 principais países para produção de biocombustíveis no mundo, incluindo China, Tailândia, Indonésia, Cingapura e Índia. O primeiro ônibus alimentado por biometano da Índia iniciou suas operações em 2017. (REN21, 2018).

Os países asiáticos também estavam cada vez mais ativos na mobilidade elétrica em 2017, embora não estivessem diretamente ligados às energias renováveis na maioria dos casos. As vendas de veículos elétricos na China aumentaram 69% e representaram pouco menos da metade do total global; em outros lugares da região, a Índia anunciou uma meta de veículos elétricos, a Tailândia aprovou uma nova política de apoio aos veículos elétricos, e a Malásia anunciou sua ambição de se tornar um “centro de marketing” para os este tipo de automóvel (REN21, 2018).

Embora a maioria dos países da Ásia não exija que seus veículos eletrificados usem fontes renováveis, muitos têm metas de eletricidade renovável que efetivamente determinarão a “parcela” de eletricidade renovável para esses veículos. (REN21, 2018).

Quanto à Europa, este continente abriga três dos quatro maiores produtores mundiais de biometano para veículos automotores - Alemanha, Suécia e Suíça - e a produção de biometano da região aumentou 12% entre 2015 e 2016, segundo o Relatório de Status Global produzido em 2018 pela Renewables. As vendas de veículos elétricos na Europa aumentaram 39% em 2017 em comparação com 2016 e representando quase um quarto das vendas globais. A Noruega lidera a região no total de vendas e penetração de mercado. O aumento do número de veículos elétricos nas estradas da Europa, juntamente com o aumento da geração de eletricidade renovável, traz oportunidades para uma maior descarbonização dos transportes. (REN21, 2018).

No que diz respeito à América do Norte, destaca-se os Estados Unidos, que continuam a ser o maior produtor e usuário de biocombustíveis do mundo. Segundo o Relatório de Status Global produzido em 2018 pela Renewables, a produção de etanol aumentou cerca de 2,8% em 2017 em relação a 2016, e uma taxa de mistura média recorde de 10,08% foi alcançada. Os Estados Unidos são o maior mercado mundial de biometano como combustível de transporte e produção, que cresceu quase seis vezes. dobrou entre 2014 e 2016, aumentou mais 15% em 2017 (REN21, 2018).

Vale mencionar que, em fevereiro de 2018, por meio do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, na sigla em inglês) suas projeções de longo prazo para alguns dos principais produtos agrícolas norte-americanos, entre os quais, o biodiesel. O documento tenta antecipar os movimentos do mercado com horizonte até 2027.

O óleo de soja deve se manter como a principal matéria-prima do biodiesel para as usinas dos Estados Unidos. Sua participação vai crescer ao longo da primeira metade do período atingindo um platô depois disso. (REN21, 2018).

Existe previsão de que a partir da temporada 2021/22 cerca de metade da produção anual norte-americana – 3,78 bilhões de litros – serão produzidos a partir do processamento do grão. Em termos brutos, a demanda deverá se estabilizar em cerca de 3,28 milhões de toneladas. (REN21, 2018).

Na América Latina, a produção de biocombustíveis ganha cada vez mais relevância, já que o continente possui de diversas fontes de energia renováveis, o que poderia contribuir significativamente para satisfazer as necessidades energéticas do futuro do planeta (CASTELLANELLI, 2016).

Por fim, no que diz respeito ao continente Africano, segundo o Relatório de Status Global produzido em 2018 pela Renewables, a produção e uso de biocombustível ainda está com níveis pequenos, apesar de alguns sinais aparente de crescimento. Por exemplo, a produção de biocombustível aumentou 28% em 2017, contra 17% em 2016. Na Nigéria, o órgão responsável pela produção de combustível fez um acordo com o estado de Kebbi para construir uma nova usina de etanol e na Zâmbia, a Sunbird Bioenergy Africa lançou um

programa para garantir o fornecimento de um projeto de etanol para o mercado de combustível de transporte para fornecer 15% das necessidades petrolíferas do país.

Segundo o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), o Brasil está a caminho de se tornar o maior produtor de biodiesel do mundo, ficando na colocação acima dos Estados Unidos. Este fato se deve ao aumento da mistura de biodiesel recentemente aprovada pela CNPE.

A CNPE estabeleceu que a adição de biodiesel cresça um ponto percentual ao ano, sendo assim, comparado ao ano de 2018 o patamar saltou de 10% para 11% em junho de 2019. O conselho prevê manter este processo e a ampliação até março de 2023, quando o número chegará a 15%. Com essa porcentagem, o Brasil dará mais espaço para a agricultura familiar e ao agronegócio com a redução da importação de óleo diesel (SEGALLA, 2019).

Conforme mencionado anteriormente, o Brasil, junto aos Estados Unidos, se encontra no topo da produção mundial deste tipo de combustível. Este marco iniciou-se quando a CNPE propôs a adição dos 7% (B7) do biodiesel ao diesel nacional, esta medida fez com que a capacidade instalada de produção de biodiesel chegue-se a 7,2 bilhões de litros, valor suficiente para atender a atual mistura de B11, estimada em seis bilhões de litros quando da sua vigência, em 2019 (SEGALLA, 2019).

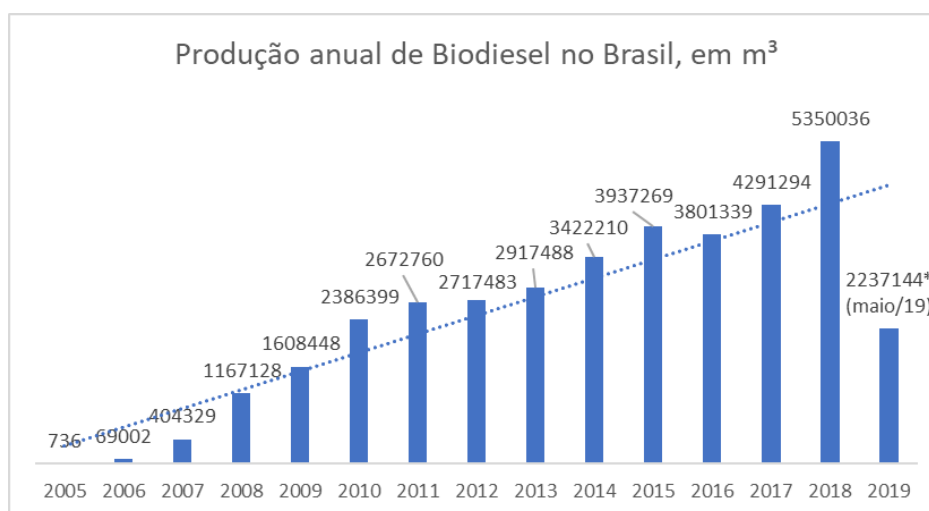


Figura 1 - Produção nacional anual de biodiesel entre os anos 2005 e 2019. Adaptado de ANP, 2019

A capacidade nominal de produção de biodiesel (B100) no Brasil vem se mantendo no patamar de cerca de 7,6 milhões de m³ (21,2 mil m³/dia). Entretanto, a produção nacional foi de 5,4 milhões de m³ no ano passado (2018) (Figura 1), o que correspondeu a 70,4% da capacidade total. Em comparação a 2017, a produção de biodiesel foi 18,2% superior. Nota-se que todas as regiões do Brasil tiveram um aumento em sua produção. Como nas regiões Nordeste e Norte, com aumento impressionante de 29% e 1.195%, respectivamente. Na produção do ano de 2018, também foram registrados aumentos nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, de 37%, 24,8% e 16,8%, respectivamente. A Região Centro-Oeste permaneceu como a maior produtora de biodiesel, com volume de cerca de 2,2 milhão de m³, equivalente a 41,2% da produção nacional. Em seguida veio a Região Sul, com uma produção de 2,19 milhão de m³, 41,0% do total nacional.

Dentre os estados, o Rio Grande do Sul continuou como o maior produtor de biodiesel, com um volume de aproximadamente 1,4 milhão de m³, equivalente a 27,6% do total nacional, após uma elevação de 30,2% na sua produção, relativamente ao ano anterior. Em seguida veio o Estado do Mato Grosso, com 1,1 milhão m³ (20,7% do total nacional), com registro de aumento de 20% da sua produção (ANP, 2019).

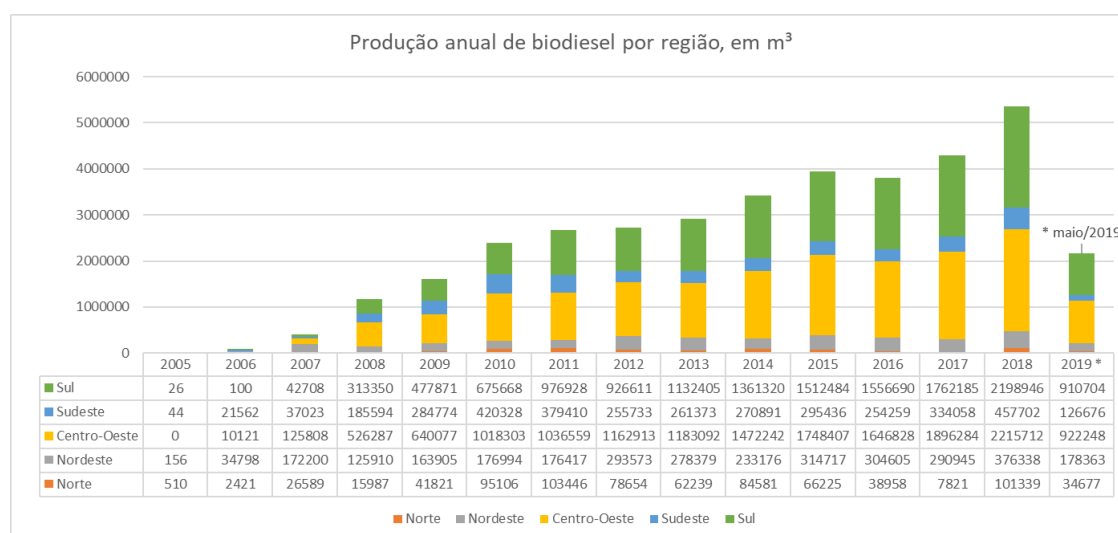


Figura 2 – Produção nacional anual de biodiesel dividida por regiões. Adaptado de ANP, 2019

Em números absolutos o Estado de São Paulo, aparece bem distante dos primeiros colocados em produção de biodiesel com apenas 233.653 m³, cerca

de 5% da produção nacional. Durante todo o período levantado se nota que o estado teve uma grande queda na produção do biocombustível, a partir do ano de 2010, no qual se atingiu o recorde histórico de 327.458 m³ de produção do biodiesel no estado. Entretanto, esse panorama vem mudando como pode ser observado no Figura 3, onde do ano de 2017 a 2018 houve um aumento significativo de 48,1% e a previsão para o ano de 2019 é de cerca de 273 mil m³ (ANP, 2019).

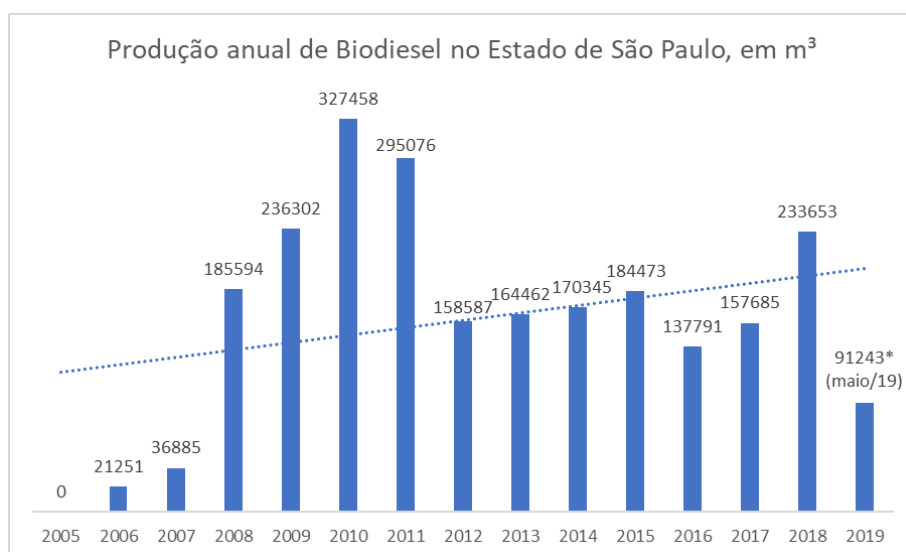


Figura 3 – Produção de Biodiesel no Estado de São Paulo. Adaptado de ANP, 2019

Pelos dados do ano de 2019 divulgado pela ANP, existem 90 empresas cadastradas no sistema do órgão federal, as quais vem produzindo biodiesel desde o ano de 2005. Entretanto, no último documento “Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis – 2018” desenvolvido pela agência estão em funcionamento apenas 51 empresas com capacidade nominal total de 21.209,8 m³/dia (ANP, 2018). Dentre elas apenas 5 são localizadas no estado de São Paulo, muito próximas ou até inseridas na área de estudo do presente trabalho (Figura 4). Estas empresas paulistas possuem uma capacidade nominal de produção de biodiesel (B100) é 628.384 m³ por ano (1.721 m³/dia) (ANP, 2019)

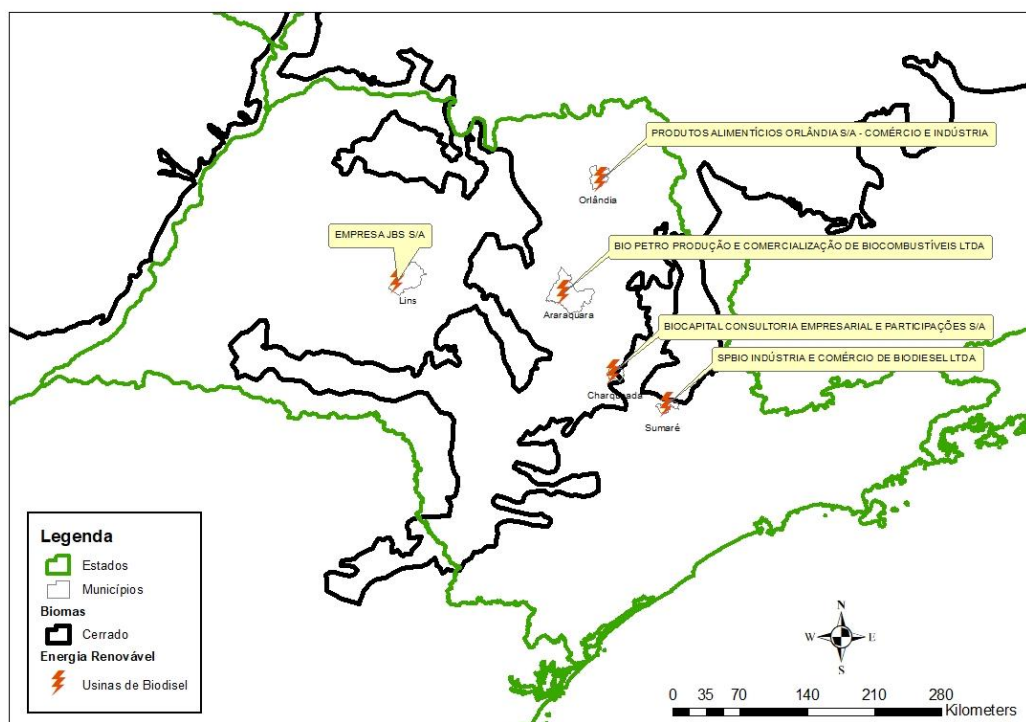


Figura 4 – Usinas de biodiesel no Estado de São Paulo. Adaptado de ANP, 2019.

2.2. SOJA

A soja é a principal cultura agrícola no Brasil. No ano de 2019, existe uma estimativa levantada pelo IBGE de que a produção de soja será de 114,8 milhões de toneladas (t), representando cerca de 50% da produção de grãos nacional (218 milhões de toneladas) (IBGE, 2019). No âmbito internacional, levando em consideração essa estimativa de produção, o Brasil almejará a segunda posição no ranking de maior produtor mundial de soja, ficando apenas atrás dos Estados Unidos que produzirá 123,6 toneladas. De acordo com o Figura 5 os estados de maior produção são as regiões sul e centro-oeste representam 79% da produção nacional (CONAB, 2019).

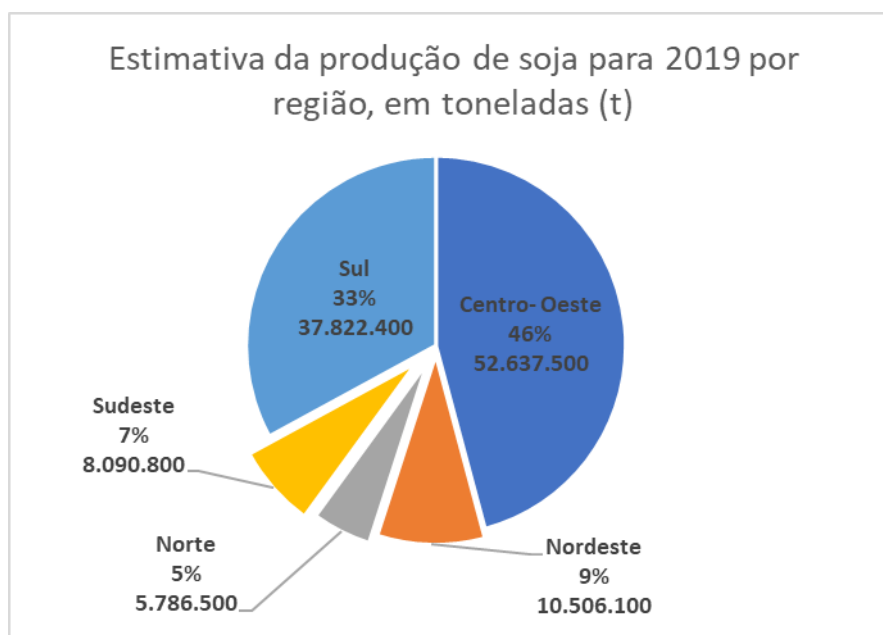


Figura 5 - Produção de soja no Brasil dividida por regiões. Fonte: CONAB, 2019

Nesse montante de 8.090.800 toneladas no Sudeste, 37,2% (3.016.500 toneladas de soja) são referentes ao estado em análise neste trabalho. O restante corresponde a produção de Minas Gerais pois os demais estados, Espírito Santo e Rio de Janeiro, não possuem registro de produção deste grão (CONAB, 2019)

Segundo a ANP, a soja permanece como a principal fonte para a produção de biodiesel no Brasil. Esta produção, das usinas brasileiras, é de cerca de 70%. Até o momento deste trabalho, o ano de 2019 vem sendo o de menor

participação da soja na produção de biodiesel desde que a ANP passou a acompanhar o consumo de matérias-primas pelas usinas de biodiesel, em 2009. Este ano já foram produzidos 1,2 bilhões de litros de biodiesel no Brasil. Levando em consideração os 324,5 milhões de litros de biodiesel de soja fabricados no mês de abril, maior volume mensal deste ano, somados com os resultados dos quatro primeiros meses deste ano.

Além da soja, existem outros tipos de matérias-primas alternativas que vem ganhando espaço no ano de 2019. De forma conjunta, os óleos de algodão, milho e palma, o óleo de fritura usado e as gorduras de porco e de frango representaram 6,3% da produção de biodiesel. Até o mês de julho de 2019, foram fabricados 29,3 milhões de litros de biodiesel, a partir destas fontes. Um Índice um pouco maior do que registrado no mês de junho de 2019, 27,4 milhões de litros (APROBIO, 2019).

De janeiro a abril de 2019, foram processados cerca de 6 milhões de toneladas de soja com o intuito de atender a demanda do setor de biodiesel. O volume fabricado aumentou de forma tímida, em relação ao mesmo período do ano passado avançando cerca de 13% (APROBIO, 2019).

Quanto a algumas características da soja, ela possui um teor de óleo de 18-25% no grão com densidade de 0,89 g/cm³, uma produtividade agrícola de 2.600 kg/ha com uma produção de óleo pode variar de 468 - 650 kg/ha ao ano. Existem outras oleaginosas que também podem ser usadas como uma alternativa para produção de biodiesel. Sendo elas (JUNIOR, 2008):

- (i) **Mamona:** com teor de óleo de 47%, produtividade de 1.200 kg/ha.ano e produção de óleo de 564 kg/ha.ano
- (ii) **Dendê:** com teor de óleo de 20%, produtividade de 20.000-30.000 kg/ha.ano e produção de óleo de 4.000-6.000 kg/ha.ano
- (iii) **Girassol:** com teor de óleo de 42%, produtividade de 1.600 kg/ha.ano e produção de óleo de 672 kg/ha.ano
- (iv) **Algodão:** com teor de óleo de 13-32%, produtividade de 1.800 kg/ha.ano e produção de óleo de 234-576 kg/ha.ano
- (v) **Amendoim:** com teor de óleo de 50%, produtividade de 2.000 kg/ha.ano e produção de óleo de 1.000 kg/ha.ano

- (vi) **Canola:** com teor de óleo de 38%, produtividade de 1.800 kg/ha.ano e produção de óleo de 684 kg/ha.ano
- (vii) **Pinhão-manso:** com teor de óleo de 33%, produtividade de 4.000 kg/ha.ano e produção de óleo de 1.320 kg/ha.ano

De com a EMBRAPA no Estado do Rondônia, a soja pode ser utilizada como uma alternativa para recuperar áreas de pastagem degradadas (SNA, 2016). A soja tem como característica, assim como outras leguminosas, a fixação biológica de nitrogênio (FBN). A fixação do nitrogênio (N_2) no solo é de suma importância para o crescimento das plantas, onde o processo de FBN é a principal via para a inserção do N_2 no solo. A soja possui uma FBN que varia de 17 até 450 kg/ha.ano (TERRA et al, 2019).

2.3. DEGRADAÇÃO DA PASTAGENS NO BRASIL

Fazendo citação à Moreira e Assad (1997), o artigo *Degradação, recuperação e renovação de pastagens* dispõe que na década de 1970, a produção pecuária sofreu uma expansão no Brasil, em decorrência do “baixo valor das terras, às ofertas de crédito e ao surgimento de espécies forrageiras com alta capacidade de adaptação ao clima e à baixa fertilidade dos solos.” (ZIMMER et al., 2012).

Ainda segundo o texto supracitado, o número de cabeças de bovinos em 2012 seria cerca de 176 milhões, entretanto esse percentual teve um decréscimo pequeno de 2,3% no ano 2017 chegando a um total de 172 milhões de cabeças. Desse total, apenas 8.328.671 está localizada no Estado de São Paulo (2,8%) (IBGE, 2017). Esses milhões de bovinos teriam nas pastagens cultivadas sua principal fonte alimentar.

Entretanto, o insumo necessário para a atividade – o pasto – tem apresentado situação alarmante de degradação que causa prejuízos econômicos e ambientais. No que diz respeito à degradação das pastagens, a importância de entender seu processo é de se evitar e tentar reverter o problema, para aumentar a produtividade e diminuir desmatamento. Isto porque, trata-se de situação preocupante para a atividade pecuária, que afeta diretamente e a sustentabilidade do sistema produtivo (ZIMMER et al., 2012).

Importante esclarecer que, segundo Macedo (2000) uma pastagem degradada é

“(...) aquela que está em processo evolutivo de perda de vigor e produtividade forrageira, sem possibilidade de recuperação natural, tornando-se incapaz de sustentar os níveis de produção e qualidade exigidos pelos animais, bem como o de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e plantas invasoras. Persistindo esse processo, poderá haver uma degradação total do solo e dos recursos naturais, com prejuízos irrecuperáveis para toda sociedade” (MACEDO et al., 2000 apud MACEDO et al., 1993; MACEDO, 1995)

Assim, pela definição acima, a degradação de pastagens pode ser caracterizada como um processo decorrente de manejo inadequado do solo, no qual ocorre perda de produtividade e capacidade natural das pastagens de superarem adversidades naturais (doenças, pragas, entre outras), acarretando degradação da área.

Os principais fatores responsáveis pela degradação das pastagens seriam, segundo Zimmer et al.:

- (i) A escolha incorreta da espécie forrageira;
- (ii) A má formação inicial;
- (iii) a falta de adubação de manutenção; e
- (iv) o manejo inadequado da pastagem.

A falha em alguns desses fatores tem a capacidade de acelerar o processo de degradação.

É comum que, ao deixarem se lavar pela aparência momentânea das pastagens, os produtores não usem ferramentas importantes que demonstram os níveis de degradação e a queda na produção (MACEDO et al, 2010).

Assim, a constatação do processo de degradação nas pastagens muitas vezes acaba ocorrendo apenas pela verificação de queda da capacidade de suporte animal ao longo do tempo (MACEDO et al, 2010).

Quando a degradação chega a este nível, é possível que a área já não esteja uniforme (partes descobertas e solo exposto), sendo possível notar invasores e pragas em decorrência da perda de capacidade natural de recuperação pelas espécies nativas (MACEDO et al, 2010).

A maioria da produção de animais no Brasil se dá por meio da utilização do pasto, deste modo pode-se inferir que a degradação das pastagens é um das maiores problemáticas da pecuária brasileira, refletindo diretamente na sustentabilidade do sistema produtivo. No Brasil, a degradação ocorre de maneira generalizada por todas as regiões do país. No entanto, o problema tende mostrou-se mais predominante nas áreas onde a pecuária vem apresentando as maiores taxas de expansão, isto é, nas áreas de fronteira agrícola (MACEDO et al, 2010).

De acordo com Moacyr Bernardino Dias Filho (2014), com base no total das áreas de pastagens do Brasil, em torno de 100 milhões de hectares de pastagens no País estariam com nível de degradação forte ou moderado, necessitando sofrer alguma forma de intervenção. Esta área de pasto degradado equivale a cerca de 63% do total de 159 milhões de hectares de pasto no território nacional (IBGE, 2017).

Segundo Moacyr Bernardino Dias Filho (2014), citando Gollin e White (GOLLIN et al., 2005 e WHITE et al., 2000), pelo fato de pressões demográficas e econômicas serem importantes motivadores do uso de tecnologia na agricultura, a escassez de áreas naturais para a expansão da atividade seria um pré-requisito para a adoção de tecnologias de intensificação agrícola.

Neste sentido, existem diversas estratégias para lidar de áreas de pastagem degradadas. Quando se fala em “recuperação”, estamos diante de restabelecimento da produção de forragem, cultivando a mesma espécie nativa. Já quando se trata de “renovação”, o procedimento consiste no restabelecimento da produção da forragem com a introdução de uma nova espécie ou cultivar, para substituir a espécie degradada (MACEDO, 2010).

Entrando na questão dos biocombustíveis, existe alguns trabalhos elaborados na recuperação de áreas degradadas utilizando a obtenção deste combustível renovável. No trabalho feito por Tavares (2014), onde foi inserida uma cultura de Carnaúba (*Copernicia prunifera*) para recuperação de áreas degradadas, na região do baixo açu no estado do Rio Grande do Norte, visando a produção de briquetes.

Segundo Macedo (2010), é possível citar algumas tecnologias voltadas à recuperação e renovação de pastagens, a saber:

- (i) Integração da lavoura e pecuária, que se trata de sistema integrado de rotação de lavouras e pastagens que tem se mostrado eficiente para o controle de pragas e doenças e melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo; e

- (ii) Plantio direto de pastagem anual ou lavouras, que se trata de prática recomendada para a manutenção da produção das pastagens quando estas estão em estado inicial de degradação.

A renovação ou recuperação pode ser efetuada de forma direta ou indireta, com destruição ou não da vegetação, conforme menciona Macedo (2010) e Zimmer (2012). Entretanto, vamos nos ater àquelas em que são utilizadas o plantio de leguminosas (MACEDO, 2010 & ZIMMER et al., 2012):

- **Recuperação direta com destruição parcial da vegetação:** este tipo de método é recomendado quando a degradação é causada pelo *“manejo inadequado da pastagem, a deficiência de nutrientes, a compactação do solo, pastagens malformadas, ou interesse de introdução de leguminosas”*. Primeiramente é aplicado um dessecante na área, de modo a permitir o retorno da vegetação, visando facilitar as operações mecânicas e a introdução de consórcios, quando for o caso. Posteriormente, efetua-se a adubação, ressemeadura de sementes da forrageira, introdução de leguminosas ou de forrageira anual para pastejo imediato e amortização dos custos até que a pastagem seja recuperada;
- **Recuperação direta com destruição total da vegetação:** método indicado quando a degradação está avançada. No caso, este sistema exige investimentos mais elevados, por requer operações com máquinas para preparo total e de práticas de conservação do solo. *“É indicado para incorporar corretivos e fertilizantes de forma mais uniforme e profunda no perfil do solo. A mesma espécie forrageira é plantada imediatamente de forma solteira ou em consorciação com leguminosas.”* (MACEDO et al., 2000).

Nota-se, pelo exposto, que é necessário que os sistemas de pastagens sejam modernizados, objetivando intensificar a produção a pasto, em menor área possível. De acordo com o Censo Agropecuário 2017, atualmente a média nacional de cabeça de bovinos por hectare de pasto seria de 1,15, sendo que em 1940 este valor era de 2,56. O Estado de São Paulo está expressivamente

acima da média nacional, em 52,6%, com 1,74 cabeça de bovinos por hectare (IBGE, 2017).

A base dessa modernização, como já vem sendo praticado, deverá ser a reutilização das áreas já desmatadas e que atualmente se encontram improdutivas ou subutilizadas, tornando a atividade mais sustentável.

Ainda que a recuperação de pastagens degradadas tenham uma papel decisivo nesse processo de modernização, tornando possível o aumento da produção, ainda há a possibilidade de que se altere o objetivo da recuperação da área degradada, de modo que o investimento nela não seja com o intuito de recuperá-la para produção de mais pastagens, mas sim para outros fins, como a produção de biocombustível, conforme explicado no decorrer deste trabalho.

Um dos motivos para a escolha dessa região foi pela quantidade de informação já publicada sobre áreas de pastagem degradadas pelo projeto “Desenvolvimento de geotecnologias para identificação e monitoramento de níveis de degradação em pastagens – GeoDegrade”, que até o presente momento, abrange apenas o bioma cerrado. De acordo com o autor do projeto, Embrapa Monitoramento por Satélite, o GeoDegrade tem como objetivo principal desenvolver metodologias, através de mapeamentos e desenvolvimento de técnicas, para a identificação e o monitoramento de níveis de degradação em pastagens de bovinos nos biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica com o intuito final de aumentar a produção destas áreas (NOGUEIRA et al., 2013).

Importante ressaltar a vasta multidisciplinaridade envolvida neste projeto. A equipe responsável pelo projeto GeoDegrade é composta por especialistas de diversas áreas e de diversas instituições da EMBRAPA, instituições de ensino como Universidade Federal do Para, Universidade Federal do Pará e outros. Assim este grupo multidisciplinar desenvolveu um projeto de grande relevância e consistência.

Conforme consta no sítio eletrônico da Embrapa (2019), para obtenção do mapa utilizado para este trabalho, a equipe do projeto GeoDegrade se baseou nas 4 seguintes metodologias:

- **Uso de dados multiespectrais de plataformas orbitais como ferramenta na discriminação de níveis de degradação de pastagens**

Para este tópico, a metodologia do GeoDegrade consistiu na seguinte ordem de medidas:

- (i) Obtenção e correção das imagens orbitais por meio do satélite Landsat 5 e corrigidos utilizando o algoritmo 6S;
- (ii) Cálculo dos índices espectrais utilizando diferentes IVs a partir de imagens de reflectância e fração, e análise de mistura espectral a partir da identificação e quantificação da proporção de alvos puros dos pixels nas imagens orbitais apenas com a cobertura do solo;
- (iii) Extração e avaliação dos índices espectrais e valores de fração vegetação verde, vegetação seca e solo na identificação de pastagens degradadas, visando determinar a existência de relação entre os índices de vegetação calculados e o grau de degradação das pastagens identificadas até então. O classificador resultante foi capaz de identificar padrões e gerar regras que permitam estabelecer o nível de degradação das pastagens a partir de informações obtidas dos sensores remotos multiespectrais. A etapa final foi a classificação e teste de critérios e regras, independente de áreas de pastagens, a fim de avaliar a qualidade do classificador.

- **Uso de séries temporais de imagens de satélite (índices de vegetação) para a caracterização de degradação de pastagens:**

Para este tópico, a metodologia do GeoDegrade consistiu na seguinte ordem de medidas:

- (i) Realização de séries temporais de índices de vegetação em que foram obtidas imagens, pelo período de 16 dias consecutivos, que indicaram a credibilidade dos dados de NDVI e EVI, por meio da seguinte classificação: ausência de dado, dado bom, dado duvidoso, com neve/gelo ou nuvens;

- (ii) Suavização dos perfis temporais e extração de parâmetros, que consiste em ajustar funções localmente a cada conjunto de pontos da série temporal do índice de vegetação, proporcionando melhor representação dos máximos e mínimos;
 - (iii) Obtenção de dados meteorológicos e análise de correlação com perfis temporais de IV, por meio de obtenção de banco de dados disponibilizados na internet. O intuito era obter séries temporais de precipitação e temperatura para o período coincidente com as séries temporais de IV. Por fim, por meio de plotagem e checagem visual e cruzada entre as estações, os dados de precipitação e temperatura foram verificados quanto às suas consistências;
 - (iv) Caracterização de perfis temporais de índices de vegetação em áreas de pastagens degradadas na qual se buscou diferenças entre os perfis temporais que pudessem servir como meio de identificação da degradação. Essa etapa levou em consideração o efeito da variação de temperatura e precipitação no sinal de IV;
 - (v) Testes de critérios para distinguir áreas degradadas/não-degradadas e comparação com resultados dos outros Planos de Ação.
- **Mapeamento espaço-temporal da biomassa vegetal de áreas sob pastagens com uso de imagens orbitais em diversos biomas brasileiros:**

Para este tópico, a metodologia do GeoDegrade utilizou imagens de satélite de média e baixa resolução espacial juntamente com modelos e algoritmos para estimar a biomassa vegetal de áreas sob pastagens. Posteriormente, visando validar as estimativas, foram coletadas amostras de biomassa vegetal (matéria seca e úmida)
 - **Uso de planos de informações geoespaciais na obtenção de indicadores de degradação de áreas sob pastagens**

Para este tópico, a metodologia do GeoDegrade realizou cruzamentos entre os diferentes planos de informações (PI) com dados das áreas consideradas degradadas, conforme demonstra a Figura 6, elaborada pelo Geodegrade:

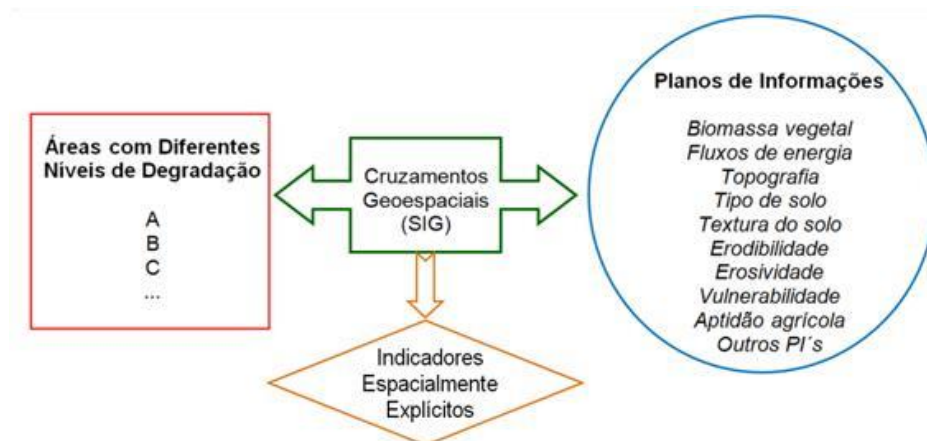


Figura 6 - Representação esquemática dos cruzamentos geoespaciais propostos. Fonte: EMBRAPA, 2019

O intuito da metodologia para o Projeto GeoDegrade era o de sintetizar e analisar os fatores físicos e bióticos referentes ao processo de degradação de pastagem, inseridos como PI. Assim, foram definidas as relações por meio de cruzamentos geoespaciais entre estes PI's e as áreas consideradas degradadas. A metodologia possuía como objetivo fortalecer o desenvolvimento de tecnologias para o uso sustentável de áreas degradadas.

2.4. GEOPROCESSAMENTO

O ano de 1991, pode ser recordado como uma revolução para o geoprocessamento no mundo. Neste ano foi lançado pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) o programa ESE - Earth Science Enterprise que tinha como premissa a confecção de satélites e outras ferramentas de sensoriamento remoto para o estudo intensivo da Terra (NASA, 2019). Os instrumentos oferecidos por esse programa tinham como objetivo realizar o monitoramento das florestas e dos campos agricultáveis a partir da disponibilização imagens de sensores orbitais capazes de permitir análises sobre a dinâmica espaço-temporal da superfície do nosso planeta (RUDORFF; SHIMABUKURO; CEBALLOS; 2007).

Assim, no ano de 1999, ocorreu o lançamento do primeiro sensor MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer). Segundo Risso et al. (2009) a partir do surgimento do sensor MODIS, começou a ser utilizado um novo Índice de Vegetação (IV), denominado Enhanced Vegetation Index (EVI), que passou a ser disponibilizado pelo projeto da NASA, o EOS (Earth Observing System) juntamente com o bem conhecido NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). A disponibilização com maior rapidez e constante das imagens MODIS permite análises regulares da vegetação em nível global, incluindo a avaliação de aspectos da vegetação e a detecção de mudanças de uso e cobertura do solo (HUETE et al.; 2002). A correlação entre a dinâmica espaço-temporal da vegetação e os IVs, colabora com o potencial deles no monitoramento da cobertura vegetal sobre extensas áreas.

Das características apresentadas por esses sensores, Epiphanyo (2007) declara

“(...)o NDVI é mais sensível à presença de clorofila e outros pigmentos responsáveis pela absorção da radiação solar na banda do vermelho, enquanto o EVI é mais sensível à variação da estrutura do dossel, incluindo o Índice de Área Foliar (IAF), a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel. Uma peculiaridade inerente ao NDVI é sua rápida saturação, o que o torna pouco sensível à detecção de variações no

aumento da biomassa vegetal a partir de uma determinada fase de crescimento das plantas.” (EPIPHANIO, 2007)

Quanto ao EVI, este foi desenvolvido com o intuito de diminuir das influências atmosféricas e do solo de fundo de área arborizada no monitoramento da vegetação. Além disso, existem trabalhos que apontam que o EVI apresenta substancial melhora na percepção de alterações do topo das áreas com vegetação em relação ao NDVI, principalmente em áreas densas, como de florestas (HUETE et al, 2002). Nada obstante, as distinções no que diz respeito à receptividade dos dois índices de vegetação não é clara, ainda que seja monitorado seus comportamentos. Ocorre que é exatamente a reação do espectro-temporal diferente de tais itens com relação às espécies vegetais com diferenças agudas de biomassa durante o ápice de desenvolvimento que pode viabilizar a diferenciação de culturas agrícolas em retratos retiradas de sensores orbitais (RUDORFF; SHIMABUKURO; CEBALLOS; 2007).

De tal modo, é comum no meio acadêmico que algumas pesquisas envolvendo monitoramento agrícola e áreas de pasto por meio de imagens MODIS exploraram as séries temporais dos IVs. Como ocorre no projeto, elaborado pela equipe de monitoramento por satélite da EMBRAPA, “Desenvolvimento de geotecnologias para identificação e monitoramento de níveis de degradação em pastagens – GeoDegrade” que serviu como referência chave para o desenvolvimento deste trabalho.

Neste trabalho foi utilizado uma ferramenta amplamente utilizada em trabalhos acadêmicos e sensoriamento remoto, a chamada classificação orientada de objetos (em inglês, OBIA). De acordo com Carvalho (2015), esta metodologia seria caracterizada da seguinte forma:

“A OBIA surge como um método alternativo para classificar imagens de alta resolução, utilizam de métodos estatísticos para categorizar cada pixel da imagem, baseado em sua resposta espectral. permitindo uma compreensão detalhada do padrão de cobertura do solo, uma vez que se torna possível identificar um número maior de classes. O método de classificação OBIA tem como unidade de processamento objetos, ou regiões, que possuem características semelhantes tais como: brilho,

tamanho, forma, compacidade, textura, vizinhança, entre outros.”
(CARVALHO; 2015).

Portanto, o acréscimo de padrões no procedimento de definição do algoritmo de classificação acarreta eficiência no colhimento das classes. O primeiro software da OBIA recebeu o nome de eCognition Object oriented image analysis, e foi elaborado pela empresa Definiens, de origem alemã. Mencionado programa funciona com lógica similar ao do cérebro humano na classificação de objetos achados em superfície terrestre, analisando-se características como cor, formato, consistência e densidade. Portanto, trata-se um avanço tecnológico capacitado a lidar com os demais instrumentos modelos relacionados à sensores orbitais e aéreos

No Brasil, existe um software de código aberto que vem ganhando notoriedade é o software InterImage, produto de uma parceria entre universidades e o INPE, sendo elas Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUCRio) e a Universidade de Hannover. Entretanto, o software brasileiro ainda não possui uma eficiência tão apurada quanto o software de origem alemã (CARVALHO; 2015).

Outra plataforma para auxiliar no desenvolvimento do presente trabalho, foi o uso de software de Sistema de Informação Geográfica. Segundo Fitz (2008) define SIG como um sistema elaborado por um conjunto de softwares, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido.

O software em questão é o Arcgis 10.3, segundo o próprio fabricante ESRI este programa computacional oferece diversas funcionalidades baseadas em localização para diversas análises e visualização dados (ESRI, 2019). Além disso, o mesmo pode ser usado para as seguintes funções:

- (I) criação e utilização de mapas;
- (II) compilar dados geográficos;
- (III) análise de informações mapeadas;
- (IV) compartilhar e descobrir informações geográficas;
- (V) usar mapas e informações geográficas em uma gama de aplicações;

(VI) e gestão de informação geográficas numa base de dados.

Existem outras ferramentas de SIG, como o QGis. Este software também apresenta boas vantagens como por ser um software de livre acesso, fácil aprendizagem e não precisar de um hardware muito potente. Entretanto, pela familiaridade e por suas ferramentas mais complexas se optou pelo uso do software ArcGis 10.3 para este trabalho.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente estudo foi escolhida a área do bioma Cerrado no Estado de São Paulo. O Cerrado Paulista, como o próprio nome sugere, atravessa a parte centro-oeste do território paulista chegando até ao norte do Estado do Paraná. Como podemos observar na Figura 7, a seguir, o bioma cerrado ocupa cerca de 30% do território do Estado de São Paulo.

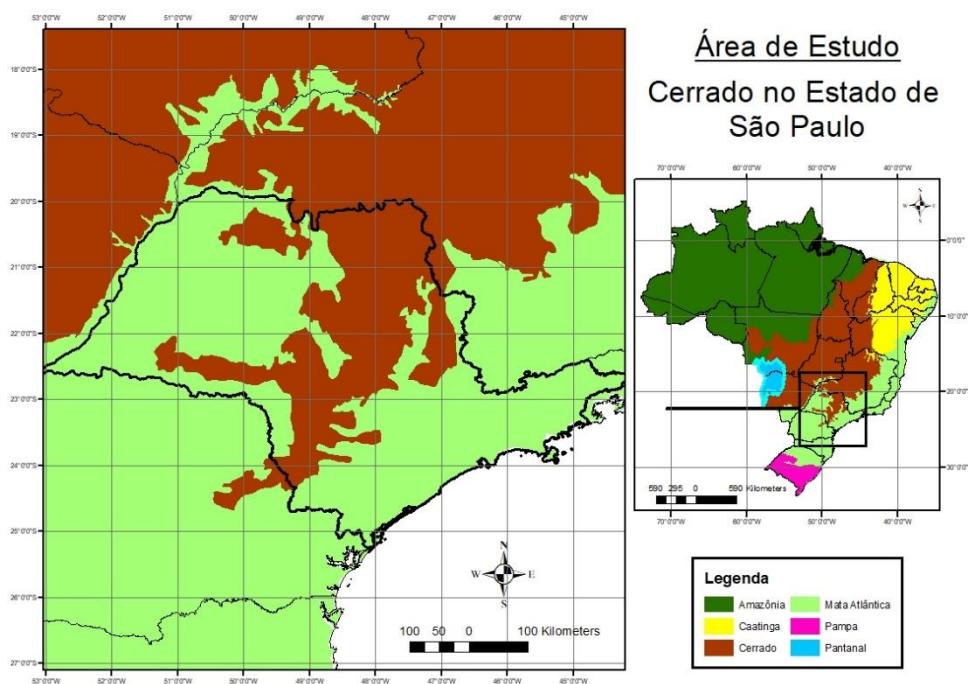


Figura 7 - Cerrado paulista em destaque. Fonte: Autor

Importante ressaltar que a região do Cerrado Paulista compreende 267 municípios no Estado de São Paulo e abrange uma área de aproximadamente 13.000.000 hectares, onde cerca de 2.880.000 hectares são para a utilização como pastagem.

Este trabalho se baseou no trabalho desenvolvido pela EMBRAPA, conforme abordado anteriormente. Esse trabalho elaborado no projeto GeoDegrade culminou em uma plataforma online e interativa onde qualquer cidadão pode encontrar informação sobre pastagem degradada nos 3 biomas (Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica). Entretanto, o único bioma com informações mais densas é o do Cerrado (Figura 8). Nos demais biomas, até o momento da realização deste trabalho, apenas havia estudos pontuais em pequenas áreas

em determinados municípios. Desta forma utilizou -se neste trabalho a região mais abordada na plataforma, o Cerrado Paulista.

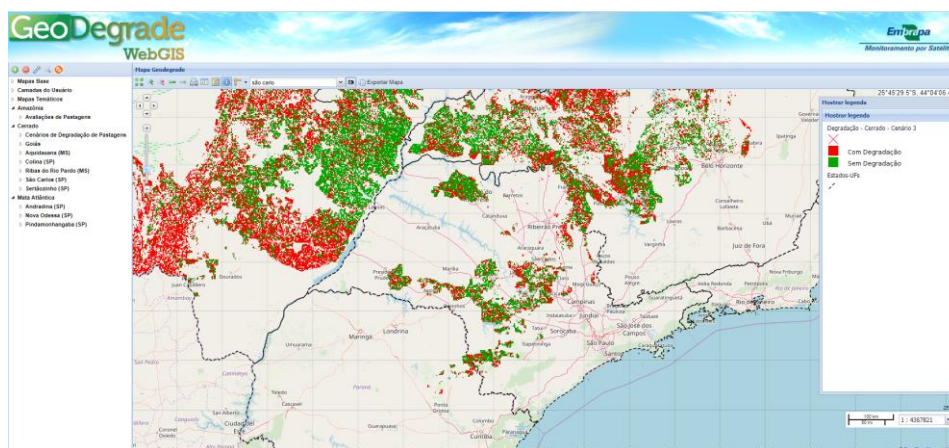


Figura 8 – Plataforma GeoDegrade. Fonte: EMBRAPA, 2019

Com esta informação extremamente densa e confiável em mãos iniciou-se o trabalho de quantificação destas áreas. Infelizmente, a plataforma não disponibilizava a informação em forma de número ou algum formato, como .shp ou .kmz, a partir do qual poderia ser calculado facilmente a quantidade de áreas degradadas ao longo do bioma escolhido. O projeto GeoDegrade disponibiliza apenas uma imagem em formato .jpeg da área selecionada, conforme Figura 9.

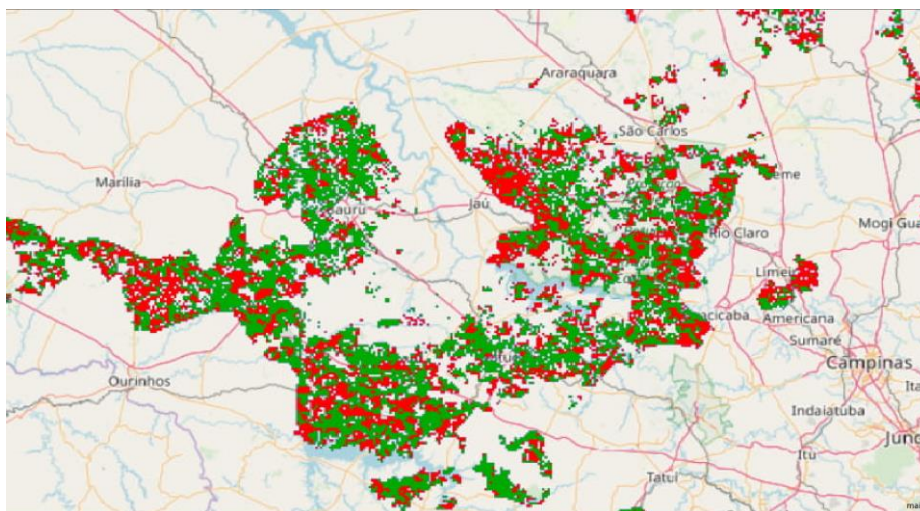


Figura 9 – Imagem exportada da Plataforma GeoDegrade. Fonte: EMBRAPA, 2019

Primeiramente foi necessário transformar a imagem de extensão .jpeg em uma extensão .tiff. Para isso foi utilizado a ferramenta “georeferencing” no software ArcGis, este processo é de essencial importância para o resto da metodologia pois concede a imagem propriedades de mensuração. Assim, será possível fazer o cálculo da área total de pastagem degradada no cerrado paulista.

Com a imagem devidamente georreferenciada, inserimos a mesma no programa de classificação de pixel a pixel chamado eCognition OBIA. Por meio do algoritmo “multiresolution segmentation” foi feita a segmentação da imagem, em 3 níveis de parâmetros de escala 100, 50 e 25, respectivamente. Os valores foram definidos pelo conhecimento empírico, adquirido ao longo dos vários anos de trabalho na área de geoprocessamento e utilizando a ferramenta eCognition. Para os critérios de homogeneidade foram usados os valores padrões do software, para os campos shape 0,1 e compacidade 0,5.

Dentre os parâmetros de escala utilizados, a escala de 25 mostrou-se mais satisfatória (Figura 10). Nessa escala às divisões de pixels se mostraram compatíveis com a imagem em análise, de maneira que as divisões não ultrapassavam para outros pixels de coloração distinta.

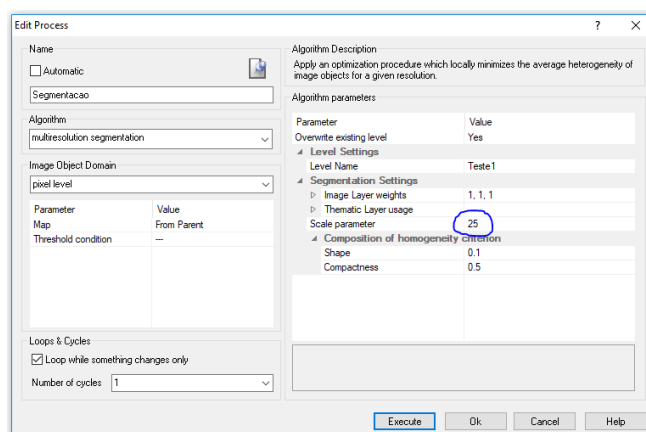


Figura 10 – Em destaque, parâmetro de escala utilizado nas análises da imagem. Fonte: Autor

Após esse procedimento, os pixels foram definidos em 7 classes distintas (Figura 11). Apesar do foco deste trabalho ser áreas de pastagem degradadas, houve a necessidade de classificar todos os elementos presentes na imagem para que não houvesse identificação errônea dos pixels pelo software eCognition. Portanto, foram utilizadas as seguintes classes:

- (I) Água; cor azul
- (II) Floresta; cor verde claro
- (III) Pasto Degradado; cor vermelha
- (IV) Pasto Saudável; cor verde escuro
- (V) Rodovia Primária; cor cinza
- (VI) Rodovia Secundária; cor amarela

(VII) Sem Classificação; cor branca

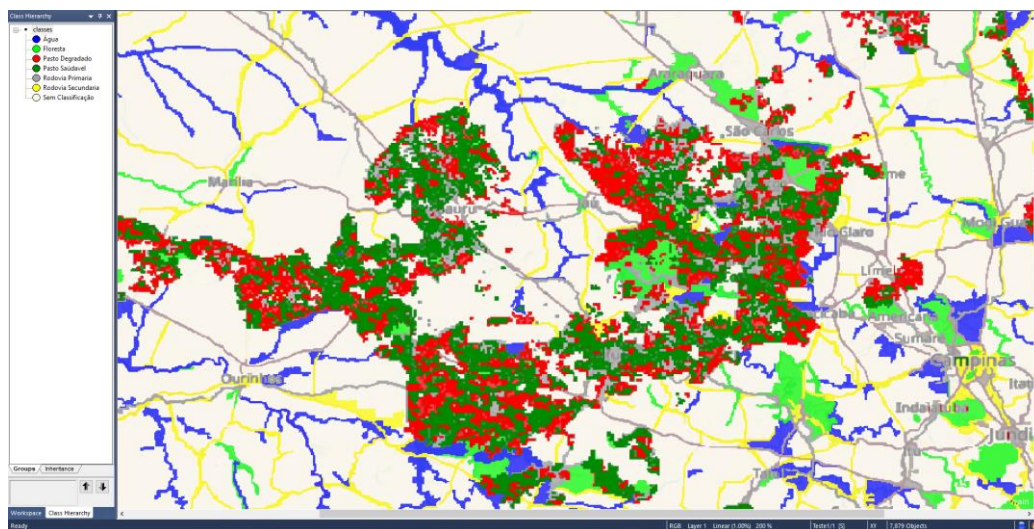


Figura 11 – Polígonos classificado no software eCognition. Fonte: Autor

Após finalizado o processo de classificação foi usado o algoritmo export vector layers para exportar a imagem classificada. Esta imagem então foi enviada para o software ArcGis 10.3 para iniciar a mensuração das áreas de pasto degradado (

Figura 12).

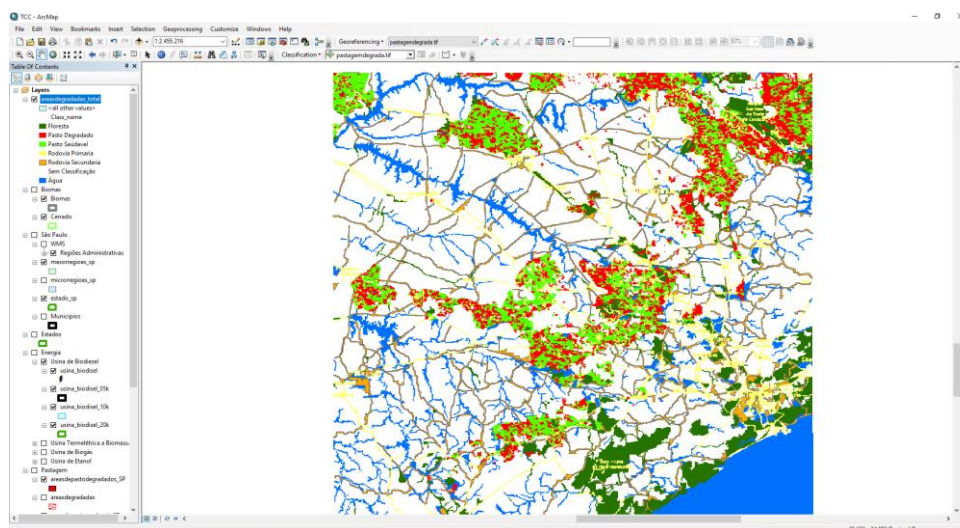


Figura 12 – Análise da imagem no software ArcGis 10.3. Fonte: Autor

Por fim, foi realizada a separação das classes. No caso, precisou exportar apenas as áreas de pasto degradadas, em vermelho, e as áreas de pasto saudável, em verde, localizadas no bioma Cerrado apenas dentro do Estado de São Paulo conforme observado na Figura 13.

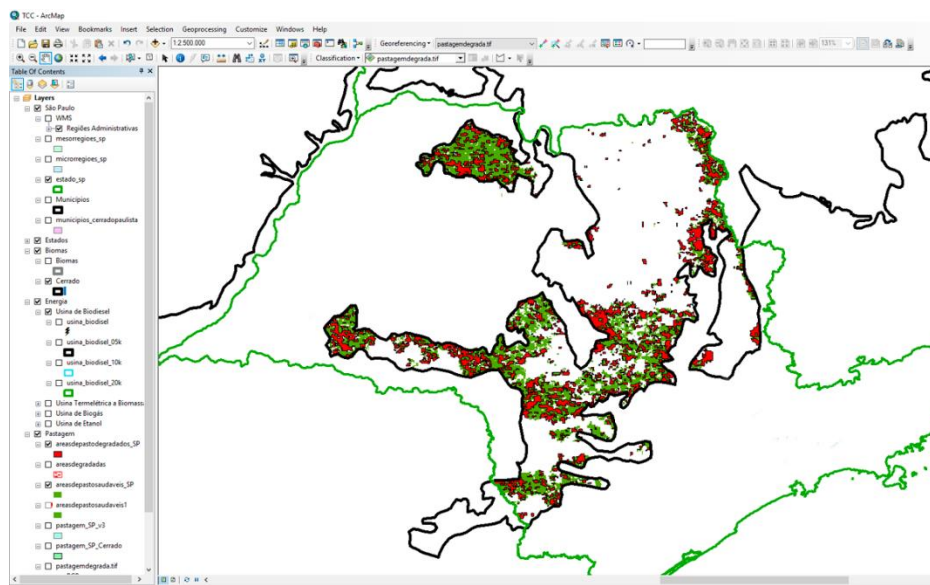


Figura 13 – Áreas de pasto saudáveis, em verde, e pasto degradado, em vermelho, no cerrado no Estado de São Paulo. Fonte: Autor

Para chegar aos resultados, alguns cálculos foram elaborados a partir de todo o levantamento demonstrado anteriormente. Conforme foi apresentado, a soja tem uma variância de 468 até 650 kg/ha.ano do qual a produção de óleo, foi utilizado a média dentre os números. O valor atribuído foi de 559 kg/ha.ano. De acordo com Junior (2018), a obtenção do biodiesel a partir deste óleo ocorre por um processo químico denominado transesterificação, no qual possui uma eficiência de 81%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para elaborar o mapa final sobre áreas de pasto degradados e pasto saudáveis foi necessário um conjunto de métodos previamente elaborados no capítulo “Materiais e Métodos”.

Conforme abordado anteriormente, durante a utilização do software eCognition foram necessários alguns testes para obter o melhor parâmetro de escala para a imagem em questão, o que acabou levando um certo tempo para obtê-lo. Entretanto, o software se mostrou muito eficiente para alcançar o objetivo proposto por este trabalho.

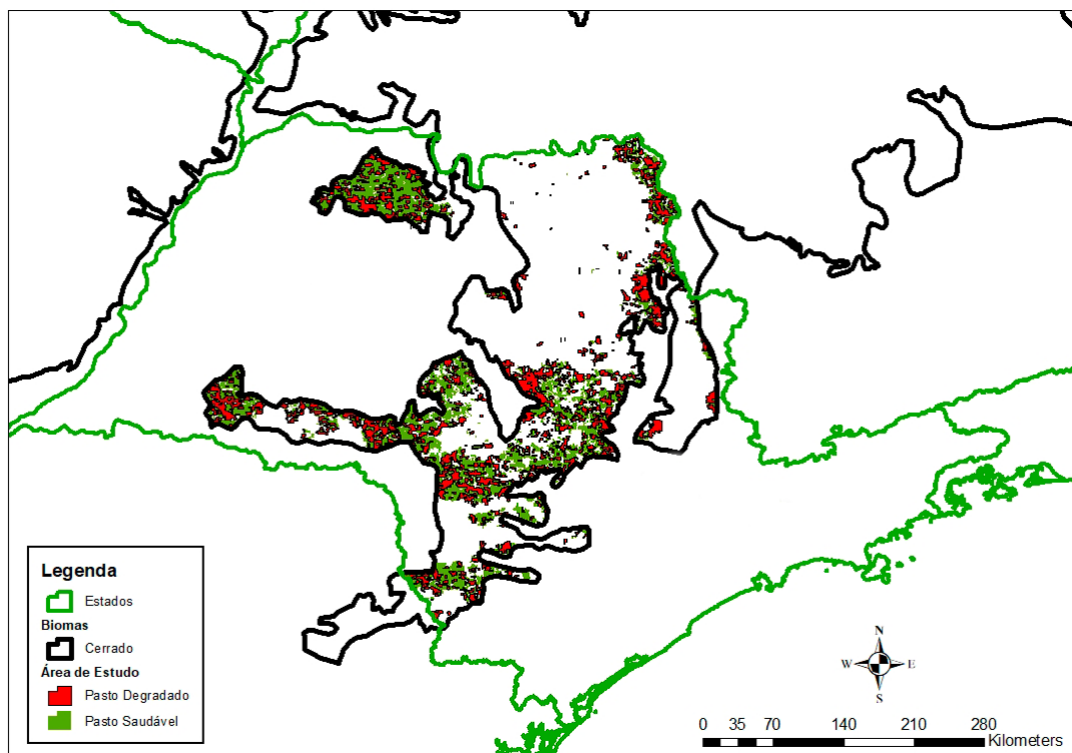


Figura 14 – Mapa, em escala, com áreas de pasto classificadas como degradadas, em vermelho, e saudáveis, em verde. Fonte: Autor.

A Figura 14 acima mostra a dispersão das áreas de pasto ao longo do cerrado no Estado de São Paulo. A dispersão de áreas de pasto saudáveis e degradadas se mostra homogênea, não se acumulando em áreas específicas do território analisado. A área total classificada, utilizando as ferramentas de SIG informadas previamente, como pasto saudável foi 1.551.066 ha e pasto degradado de 1.282.684 ha. Por esse resultado, a região se apresenta em melhor condições

do que a média nacional (63%), entretanto a média de 45% não pode ser encarada como um fator satisfatório.

Desta forma, o plantio de soja vem como alternativa para a recuperação das áreas degradadas pelas suas características, já abordadas anteriormente, e por sua imensa utilização como matéria prima para a fabricação de biodiesel.

Para conseguir o total de biodiesel a ser produzido, com base nos dados presentes neste relatório, se baseia nas seguintes equações:

- (i) A soja produz 559 kg/ha.ano. O número 1.282.684 se refere a área degradada no cerrado no Estado de São Paulo.

$$= 559 \frac{kg}{ha.ano} \times 1.282.684 ha = 717.020.356 \frac{kg}{ano}$$

- (ii) O valor de densidade do óleo de soja, 0,89 g/cm³

$$= 0,89 \frac{g}{cm^3} \times \frac{1 kg}{1000 g} \times \frac{1000 cm^3}{1 L} \times 717.020.356 \frac{kg}{ano} = 638.148.116 L_{soja}$$

- (iii) Sendo a eficiência do processo de 81%.

$$= 638.148.116 L_{soja} \times 0,81 = 516.899.974 L_{biodiesel}$$

Portanto, o potencial das áreas de pastagem degradadas no cerrado no Estado de São Paulo é de 516.899.974 litros de biodiesel. Este quantitativo representa 9,7% na produção nacional se comparado ao ano 2018, foram fabricados 5.350.036.000 litros de biodiesel. Neste mesmo ano, o Estado de São Paulo fabricou 233.653.000 litros, portanto isso traria ao estado um impacto de grandes proporções com o aumento de 221% na produção.

Vale lembrar que a capacidade nominal das empresas produtoras de biodiesel no estado chega apenas a 628.384.000 litros de biodiesel. Assim, se somado

com a produção já existente o Estado de São Paulo produziria 750.552.974 litros, levando a um excedente de 122.168.974 litros (16,2%).

5. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho consistiu em relacionar o cultivo de soja, na mitigação de áreas de pastagens degradadas, para a produção de biodiesel, limitando-se a área de cerrado no estado de São Paulo.

Para tanto foi feito, inicialmente, um levantamento bibliográfico acerca da atual situação da produção de biocombustíveis no Brasil e no mundo. Nesta etapa foi possível concluir que o uso de biodiesel como alternativa ao combustível fóssil é uma realidade nos mais diversos países e, no Brasil, sua produção tem como destaque o uso da soja como matéria prima.

Considerando o cenário de uso majoritário da soja para recuperação de áreas de pastagem degradadas, este trabalho abordou o uso de tal oleaginosa que, dentre outras características, tem potencial de recuperar os nutrientes do solo tendo em vista sua fixação de nitrogênio – elemento este que potencializa o crescimento de vegetação.

Posteriormente, foram elencadas as ferramentas utilizadas para elaboração dos mapas inseridos neste trabalho. Esta etapa foi de suma importância para conclusões finais, uma vez que fundamentou a metodologia utilizada.

No que diz respeito a metodologia, foi usada a ferramenta denominada eCognition, na qual é feita a classificação orientada de objetos. Por meio dela, foi possível classificar os pixels da imagem retirada do projeto GeoDegrade e exportá-los, já georreferenciados, ao software ArcGis. Com isso, possibilitou-se a obtenção do quantitativo de área de pasto degradada no local de estudo.

Finalmente, concluiu-se que a produção de biodiesel a partir do cultivo de soja nas áreas degradadas mapeadas, traria ganhos ambientais pela recuperação do solo e um aumento significativo nas reservas deste biocombustível no estado de São Paulo.

BIBLIOGRAFIA

Aatola, H. Larmi, M. Sarjovaara, T. **Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NOx, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine**. Helsinki University of Technology. 2008. Disponível em <http://www.etipbioenergy.eu/images/SAE_Study_Hydrotreated_Vegetable_Oil_HVO_as_a_Renewable_Diesel_Fuel.pdf>. Acesso em 07 julho 2019

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS IBGE. **Em abril, IBGE prevê alta de 2,2% na safra de grãos de 2019**. Estatísticas Econômicas. 2019. Disponível em <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/24363-em-abril-ibge-preve-alta-de-2-2-na-safra-de-graos-de-2019>>. Acesso em 17 julho 2019

Alencar-Silva, T.; Maillard, P. **Segmentação de imagens de alta resolução utilizando o programa SMAGIC**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Natal, 2009.

ANP – Agência Nacional Do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/images/central-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/2018/anuario-2018-versao-impressao.pdf>>. Acesso em 12 julho 2019.

ANP – Agência Nacional Do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Dados Abertos - Produção de Biodiesel**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/dados-abertos-anp>>. Acesso em 12 julho 2019.

APROBIO – ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE BIODIESEL DO BRASIL. **Soja volta a ganhar espaço na produção de biodiesel em abril**. 2019. Disponível em <<https://aprobio.com.br/2019/05/27/soja-volta-a-ganhar-espaco-na-producao-de-biodiesel-em-abril/>>. Acesso em 17 julho 2019.

Asal, S. Marcus, R. **An analysis of the obstacles to the development of a sustainable biodiesel industry in Argentina**. Université Paris-Dauphine.

Buenos Aires, 2005. Disponível em <http://www.mercosurabc.com.ar/nota.asp?IdNota=1250&IdSeccion=7> Acesso em 08 julho 2019

BRASIL. Lei Nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Brasília, 13 de janeiro de 2005. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm. Acesso em 5 julho 2019.

Blaschke, T.; Strobl, J. **What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS**. GeoBIT-GIS, n. 6, p. 12-17, 2001. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/216266284_What's_wrong_with_pixels_Some_recent_developments_interfacing_remote_sensing_and_GIS. Acesso em 5 julho 2019.

Castellanelli, C. A. **Biodiesel Na América Latina: Aproximações E Tendências No Contexto Da Governança**. Eumed. 2016 Disponível em <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/16/biodiesel.html> Acesso em 13 julho 2019

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO . **Safra Brasileira de Grãos**. 2019. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos> Acesso em 17 julho 2019

EMBRAPA. **Materiais e Métodos**. “Desenvolvimento de geotecnologias para identificação e monitoramento de níveis de degradação em pastagens – Geodegrade”. 2019. Disponível em <http://www.geodegrade.cnpm.embrapa.br/metodos>. Acesso em 11 julho 2019.

Epiphanyo, R. D. V. **Avaliação da potencialidade das imagens MODIS na estimação da área de soja no estado do Mato Grosso**. 102 p. (INPE-15190-TDI/1299). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007. Disponível em <http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc->

m17@80/2007/07.18.12.27/doc/paginadeacesso.html>. Acesso em 10 julho 2019

ESRI. **Sobre o Arcgis**. Página eletrônica. 2019. Disponível em <<https://www.img.com.br/pt-br/arcgis/visao-geral/visao-geral>>. Acesso em 07 julho 2019.

Filho, M. B. D. **Diagnóstico das Pastagens no Brasil**. Belém. Embrapa Amazônia Oriental. 2014. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/986147/1/DOC402.pdf>> Acesso em 14 julho 2019

Guarieiro, L.L.N.; Torres, E. A.; De Andrade, J. B. **Energia Verde**. In: Alicia Ivanissevich e Angelo da Cunha Pinto. (Org.). Química Hoje. 1 ed. Rio de Janeiro: Instituto Ciência Hoje, 2012, v. 1, p. 118-125.

Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E. P.; Gao, X.; Ferreira, L. G. **Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices**. Remote Sensing of Environment, n. 83, p. 195-213, 2002. Disponível em <modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf>. Acesso em 10 julho 2019

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agro 2017 - Resultados Preliminares no Brasil**. 2017. Disponível em <https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/pdf/producao.pdf> Acesso em 11 julho 2019

Junior, C. T. **Extração de óleo de soja com etanol e transesterificação etílica na miscela**. Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2008. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-14052010-100105/publico/Mestrado.pdf>> Acesso em 17 julho 2019

Liu, Y.; Li, M.; Mao, L.; Xu, F.; Huang, S. **Review of Remotely Sensed Imagery Classification Patterns Based on Object-oriented Image Analysis**. Chinese Geographical Science. n. 16, p. 282-288, 2006. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/227311736_Review_of_Remotely_Sensed_Imagery_Classification_Patterns_Based_on_Object-oriented_Image_Analysis> Acesso em 04 julho 2019

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cartilha institucional do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel**. 2011. Disponível em <http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_arquivos_64/Biodiesel_Book_final_Low_Completo.pdf>. Acesso em: 10.07.2019

Macedo, M.; Zimmer, A. H.; Kichel, A. N.; Almeida, R. G.; Araujo, A. R.; **Degradação De Pastagens, Alternativas De Recuperação E Renovação, E Formas De Mitigação**. Embrapa Gado de Corte. Campo Grande, MS. 2010. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/976514/degradacao-de-pastagens-alternativas-de-recuperacao-e-renovacao-e-formas-de-mitigacao>> Acesso em 10 julho 2019

Masieroi, G., Lopes, H. **Etanol e biodiesel como recursos energéticos alternativos: perspectivas da América Latina e da Ásia**. Revista Brasileira de Política Internacional. Universidade de Brasília. 2008. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-73292008000200005#not14> Acesso em 13 julho 2019

Mekonnen. M. M.; Hoekstra, A. Y.; **A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. Ecosystems**. Enschede. Netherlands. 2012. Disponível em <<https://waterfootprint.org/media/downloads/Mekonnen-Hoekstra-2012-WaterFootprintFarmAnimalProducts.pdf>> Acesso em 17 julho 2019

Mekonnen. M. M.; Hoekstra, A. Y.; **The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products**. Hydrology and Earth System Sciences. Enschede. Netherlands. 2011. Disponível em <<https://waterfootprint.org/media/downloads/Mekonnen-Hoekstra-2011-WaterFootprintCrops.pdf>> Acesso em 17 julho 2019

Mombach, M. A.; Pedreira, B. C.; Pereira, D. H.; Cabral, L. S.; Rodrigues, R. A. R.; **Emissão de metano entérico por bovinos: o que sabemos e que podemos fazer?**. Anais do 2º Simpósio de Pecuária Integrada. Fundação UNISELVA. Cuiabá. 2016. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/153352/1/2016-cpamt-pedreira-emissao-metano-enterico-bovinos-181-202.pdf>> Acesso em 17 julho 2019

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Imagens Rapideye - Geocatálogo**. Disponível em < [http:// geocatalogo.ibama.gov.br/](http://geocatalogo.ibama.gov.br/) > Acesso em 10 junho 2019

NASA – National Aeronautics and Space Administration. **Overview of the Earth Science Enterprise (ESE)**. 2019. Disponível em: <<https://earthobservatory.nasa.gov/features/ESE>>. Acesso em 12 julho 2019.

Nogueira, S. F.; Silva, G. B. S.; Andrade, R. G.; Vicente, L. E. **Geotecnologias para o monitoramento dos níveis de degradação das pastagens no Brasil**. Infogeo, v. 15, p. 62-64, 2013.

Nogueira, S. F.; Macedo, M. C. M.; Chapuis, R. P.; Silva, G. B. S. **Protocolo de campo para validação de métodos de identificação de níveis de degradação de pastagens usando de imagens multisensores**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2012. 16 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 25)

Palhares, J. C. P. **Consumo de água na produção animal**. EMBRAPA. São Carlos. 2013. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/971085/consumo-de-agua-na-producao-animal>> Acesso em 17 julho 2019.

Risso, J.; Rizzi, R.; Epiphanyo, R. D. V.; Rudorff, B. F. T.; Formaggio, A. R.; Shimabukuro, E. Y.; Fernandes, S. L. **Potencialidade dos índices de vegetação EVI e NDVI dos produtos MODIS na separabilidade espectral de áreas de soja**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 379-386. Disponível em < <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.00.07/doc/379-386.pdf>>. Acesso em: 10 julho 2019.

Rodrigues, F. **Biodiesel no mundo**. BioDieselBR. 2014. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/biodiesel/mundo/biodiesel-no-mundo>> Acesso em 05 julho 2019

Rodrigues, F. **USDA publica projeções de longo prazo para produção de biodiesel nos EUA**. BiodieselBR. 2018. Disponível em <<https://www.biodieselbr.com/noticias/inter/eua/usda-publica-projecoes-de>>

longo-prazo-para-producao-de-biodiesel-nos-eua-260218> Acesso em 13 julho 2019

Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Ceballos, J. C. **O sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 428 p. Disponível em <http://www.inpe.br/biblioteca/autoria_inpe/livro_sensor_modis_snp.htm> Acesso em: 07 julho 2019

Segalla, A. **Brasil será maior produtor de biodiesel do mundo**. EM.com.br. 2019. Disponível em <https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2019/01/23/internas_economia,1023631/brasil-sera-maior-produtor-de-biodiesel-do-mundo.shtml> Acesso em 13 julho 2019

SNA – SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA. **Plantio de soja é opção viável para recuperação de pastagens degradadas**. Disponível em <<https://www.sna.agr.br/plantio-de-soja-e-opcao-viavel-para-recuperacao-de-pastagens-degradadas/>> Acesso em 17 julho 2019.

Suarez, P.A.Z.; E Meneghetti, S.M.P. **70º aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil**. Química Nova, v. 30, p. 2068-2071, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000800046>. Acesso em 3 julho 2019

Tavares, S. R. L. **Biocombustíveis sólidos: fonte energética alternativa visando à recuperação de áreas degradadas e à conservação do Bioma Caatinga**. 2014. Embrapa Solos. Rio de Janeiro.

Terra, A. B. C.; Florentino, L. A.; Rezende A. V.; Silva, N. C. D. **Leguminosas forrageiras na recuperação de pastagens no Brasil**. Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal. 2019. Disponível em <https://revistas.rcaap.pt/index.php/rca/article/view/16016/14141> Acesso em 17 julho 2019

Wardlow, B. D.; Kastens, J. H., & Egbert, S. L. **Using USDA crop progress data for the evaluation of greenup onset date calculated from MODIS 250-meter**

data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 72 n. 11, p.1225–1234. 2006. Disponível em: < https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/2006journal/november/2006_nov_1225-1234.pdf> Acesso em: 12 julho 2019.

Zimmer, A. H.; Macedo, M. C. M.; Kichel, A. N.; Almeida, R. G. **Degradação, recuperação e renovação de pastagens.** Brasília. 2012. Embrapa. Disponível em <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/100130/1/CPAF-AP-2004-Degradacao-pastagens.pdf>>. Acesso em 10 julho 2019