

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO
REMOTO E METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
SENSORIAMENTO REMOTO

**ANÁLISE DE MUDANÇAS DA COBERTURA E USO DO SOLO NO BIOMA
PAMPA COM MATRIZES DE TRANSIÇÃO**

CARMEN V. DE OLIVEIRA

Porto Alegre, 2020.

CARMEN V. DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DE MUDANÇAS DA COBERTURA E USO DO SOLO NO BIOMA
PAMPA COM MATRIZES DE TRANSIÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito à obtenção do título de Mestre em Sensoriamento Remoto.

Orientadora: Prof. Tatiana Mora Kuplich

Porto Alegre, 2020

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Prof. Tatiana Mora Kuplich, pelos ensinamentos, paciência e apoio ao longo da caminhada;

Ao Eliseu José Weber pela brilhante ajuda e apoio nos momentos mais tensos com as matrizes de transição;

Ao Heinrich Hasenack pelo apoio e esclarecimentos dos limites da área do Pampa;

Ao Juliano Schirmbeck pelas imensuráveis vezes em que foi prestativo com as análises no GEE;

Ao Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia pela oportunidade de realização deste trabalho;

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela excelência em ensino público no país;

Aos amigos Fernando Pinto e Juliana Gonçalves pela grande ajuda em determinados momentos;

À minha mãe por todas às vezes que não atendi ao telefone;

Ao Marcio Jorge de Castro Silveira por todo o carinho e compreensão sempre.

ANÁLISE DE MUDANÇAS DA COBERTURA E USO DO SOLO NO BIOMA PAMPA COM MATRIZES DE TRANSIÇÃO

Autora: Carmen Viviane de Oliveira
Orientadora: Prof. Tatiana Mora Kuplich

RESUMO

O bioma Pampa abrange parte do território do Rio Grande do Sul - Brasil. Em função das modificações na estrutura da paisagem natural provocadas pela expansão da atividade agrícola, os campos nativos vêm de forma consistente, sendo fragmentados e descaracterizados. Buscando colaborar no entendimento das alterações ocorridas nos campos nativos, esta pesquisa objetivou analisar e quantificar as conversões na cobertura e uso do solo presentes no bioma Pampa brasileiro, através dos mapas de cobertura e uso do solo do projeto MapBiomias. O estudo foi conduzido dentro dos limites oficiais do governo brasileiro para o bioma, que foi recentemente modificado. Os dados espaciais de cobertura e uso do solo dos mapas do Projeto MapBiomias dos anos 1987, 1997, 2007 e 2017 foram usados na plataforma *Google Earth Engine* (GEE) para o processamento dos dados. A fim de investigar os processos de conversões do uso do solo, matrizes de transição e métricas incidentes e estados foram avaliadas. Os resultados mostraram que os principais processos de conversões estão relacionados ao aumento de área da agricultura de aproximadamente 2.545.002 hectares enquanto ocorreu redução de área de campos nativos de aproximadamente 2.662.450 hectares durante as três décadas avaliadas. Em relação às métricas incidentes e estados, constatou-se que 69,02% da área do Pampa permaneceu como uma única classe, 18,64% mudou para outra classe, 9,53% tiveram transições entre duas classes e 2,81% sofreram transições entre várias classes. Este estudo possibilitou analisar e quantificar o padrão das mudanças na cobertura e uso do solo ocorrido no bioma Pampa, sendo o principal processo de conversão dos campos nativos a atividade agrícola.

ANALYSIS OF LAND USE AND LAND COVER IN PAMPA BIOME BY TRANSITIONAL MATRICES

Author: Carmen Viviane de Oliveira
Advisor: Prof. Tatiana Mora Kuplich

ABSTRACT

The Pampa biome covers part of the Brazilian state of Rio Grande do Sul state. Due to changes in the structure of the natural landscape caused by the expansion of agricultural activity, native grasslands are being fragmented and uncharacterized consistently. Seeking to collaborate for the understanding of the changes occurred in the native grasslands, this research aimed to analyze and quantify the conversions in coverage and land use in the Brazilian Pampa biome, through the maps of coverage and land use of the MapBiomias project. The study was conducted within the official boundaries for the biome, recently modified by the Brazilian government. The spatial data of land cover and land use from MapBiomias Project maps of years 1987, 1997, 2007 and 2017 were used within the Google Earth Engine (GEE) platform for data processing. In order to investigate the land use conversion processes, transition matrices and incident and state metrics were assessed. The results showed that the main conversion processes are related to an increase in the agricultural area of approximately 2,545,002 hectares, while there was a decrease in the grassland area of approximately 2,662,450 hectares during the three decades evaluated. Regarding the incident and state metrics, it was found that 69.02% of the Pampa area remained as a single class, 18.64% changed to another class, 9.53% had transitions between two classes and 2.81% suffered transitions between several classes. This study made it possible to analyze and quantify the pattern of changes in coverage and land use that occurred in the Pampa biome, being the main conversion process of native grasslands the agriculture activities.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivo geral.....	12
1.1.2 Objetivos específicos	12
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1. BIOMA PAMPA.....	14
2.2. <i>GOOGLE EARTH ENGINE</i> (GEE)	15
2.3. MAPBIOMAS	16
2.4. MUDANÇAS NA COBERTURA E USO DO SOLO	18
2.5. MATRIZ DE TRANSIÇÃO	19
3. REFERENCIAS	21

CAPITULO I: ARTIGO 1: ANÁLISES DAS CONVERSÕES DE USO E COBERTURA DO SOLO DO BIOMA PAMPA BRASILEIRO	30
1 Introdução	32
2 Área, materiais e métodos	33
2.1. <i>Localização da área</i>	33
2.2. <i>Material utilizado</i>	34
2.3 <i>Compatibilização de classes</i>	35
2.3.1 <i>Incidentes e estados</i>	37
2.3.2 <i>Análise de mudanças do uso do solo com a matriz de transição</i>	37
3 Resultados	39
3.1 <i>Mudanças na cobertura e uso do solo</i>	39
3.1.1 <i>Incidentes e estados</i>	41
3.1.2 <i>Matrizes de transição</i>	44
4 Discussão dos resultados	47
5 Conclusões	49
Referências bibliográficas	50

CAPÍTULO I: ARTIGO 2: ALTERAÇÕES NA COBERTURA E USO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE DOM PEDRITO, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL	53
1. INTRODUÇÃO	54
2. MATERIAL E MÉTODOS	55
2.1. Área de estudo.....	55
2.2. Material utilizado	56
2.3 Metodologia	56
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4. CONCLUSÕES.....	66
REFERÊNCIAS	66
5. CONCLUSÃO GERAL	68
6. REFERENCIAS	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matriz de tabulação cruzada geral para comparar dois mapas de diferentes pontos no tempo (transcrito de Pontius et al. (2004))	23
--	----

CAPÍTULO I – Artigo 1

Tabela 1: Agregação de classes de interesse de cobertura e uso do solo	39
Tabela 2: Diferença de área (em hectares) entre as três décadas do estudo do bioma Pampa	45
Tabela 3: Percentual de área ocupada por cada Combinação de Incidentes e Estados	47
Tabela 4: Matriz de transição mostrando as transições das classes das colunas para as classes das linhas, em hectares, em 1987 e 1997.....	49
Tabela 5: Matriz de transição mostrando as transições das classes das colunas para as classes das linhas, em hectares, em 1997 e 2007.....	49
Tabela 6: Matriz de transição mostrando as transições das classes das colunas para as classes das linhas, em hectares, em 2007 e 2017.....	50
Tabela 7: Matriz de transição mostrando as transições das classes das colunas para as classes das linhas, em hectares, em 1987 e 2017.....	50

CAPÍTULO I – Artigo 2

Tabela 1: Agregação das classes de interesse de cobertura e uso do solo.....	60
Tabela 2: Comparação das áreas (em hectares) entre 1987 e 2017, para Dom Pedrito.....	63
Tabela 3: Percentagem de área em hectares, em 1987 e 2017, para Dom Pedrito	66
Tabela 4: Matriz de transição mostrando as transições das classes das colunas para as classes das linhas, em hectares, em 1987 e 2017.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de abrangência do bioma Pampa no Rio Grande do Sul..... 14

CAPÍTULO I – Artigo 1

Figura 1: Mapa de Localização da área de estudo..... 37

Figura 2: Mapas de uso e cobertura do solo para o bioma Pampa nos quatro pontos de tempo 44

Figura 3: Mapas resumo para os quatro intervalos de tempo: (a) Incidentes, (b) Estados e (c) Combinações 46

CAPÍTULO I – Artigo 2

Figura 1: Mapa de Localização da área de estudo..... 59

Figura 2: Mapas de uso e cobertura do solo para Dom Pedrito nos dois pontos de tempo.... 63

Figura 3: Mapas resumo para os dois intervalos de tempo: (a) Incidentes, (b) Estados e (c) Combinações 64

Figura 4: Percentual de área ocupada por cada Combinação de Incidentes e Estados..... 65

Figura 5: Ganho e perda de área em hectares, entre 1987 e 2017, para Dom Pedrito..... 69

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO I – Artigo 1

Quadro 1: Matriz de transição para comparar dois mapas em dois tempos distintos..... 42

LISTA DE ABREVIATURAS

APP	Área de Preservação Permanente
AUP	Assentamento Urbanos Precários
CEU	Centro Educacional Unificado
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
IAF	Índice de Área Foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LCM	<i>Land Change Modeler</i>
PAM	Produção Agrícola Municipal
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
OC	Observatório do Clima
SAVI	<i>Soil-Adjusted Vegetation Index</i>
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa
SR	Sensoriamento remoto

1. INTRODUÇÃO

O bioma Pampa abrange parte do território do Rio Grande do Sul, parte da Argentina e todo o território do Uruguai. Com predomínio de vegetação não florestal, tem um papel significativo na manutenção da biodiversidade, visto que, é formado por ecossistemas naturais com alta diversidade de espécies animais e vegetais, que asseguram importantes funções ambientais, como a conservação de recursos hídricos, a disponibilidade de polinizadores e o fornecimento de recursos genéticos, além de ter grande importância no abastecimento de forragem para a pecuária inserida na região (PILLAR et al., 2009).

Este bioma passou a sofrer modificações na estrutura da paisagem natural desde a demarcação das fronteiras até os dias atuais. As mudanças são resultantes da introdução da pecuária e pela colonização, cuja atividade principal era a agricultura. Nos últimos tempos, a grande demanda da expansão agrícola tem contribuído para a conversão das áreas campestres em áreas cultiváveis.

Essas conversões não implicam, necessariamente, uma degradação do solo. Entretanto, indicam alterações quantitativas nas dimensões de área por um dado tipo de uso do solo. Podem envolver a conversão de um uso para outro, ou a modificação do padrão de desenvolvimento do mesmo uso (ARSANJANI et al., 2011). Existe uma preocupação em termos de sustentabilidade ambiental para o bioma Pampa, já que conversões de uso contribuem para a supressão e degradação das áreas naturais. Há, portanto, necessidade de analisar as mudanças do uso do solo neste bioma.

O uso de geotecnologias como o sensoriamento remoto (SR) em conjunto com técnicas de geoprocessamento, possibilita analisar as mudanças da cobertura e uso do solo, mensurar, por exemplo, conversão de usos e os possíveis impactos sobre as áreas naturais, como é o caso do bioma Pampa. Através do uso de séries temporais podemos analisar as conversões de uso e construir cenários para compreender e prever as mudanças da cobertura e uso do solo.

Existem diferentes metodologias que possibilitam mapear e monitorar a cobertura e uso do solo, podendo ser utilizadas em plataformas de processamento e armazenamento de dados, como o *Google Earth Engine (GEE)*, que permite, em escala mundial, a análise e processamento de dados ambientais (MOORE e HASSEN, 2011). O uso dessa plataforma para obter e processar dados de sensoriamento remoto facilita o

entendimento das mudanças ocorridas na cobertura e uso do solo, permitindo a interpretação do modelo recente de mudança.

O projeto Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil - MapBiomias, vem sendo desenvolvido por uma rede colaborativa de especialistas em sensoriamento remoto, Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e biomas brasileiros, de vários órgãos, governamentais e não-governamentais, no âmbito da classificação da cobertura do solo em escala nacional. O MapBiomias utiliza, entre outros, dados de sensoriamento remoto processados em metodologias conhecidas (classificação de imagens, modelo de mistura espectral) para a geração de mapas anuais de cobertura e uso do solo dos biomas brasileiros desde 2000 (SOUZA et al, 2020).

Com a disponibilidade de extenso banco de dados sobre o Pampa, incluindo estimativas de acurácias de mapas de cobertura e uso do solo de 1985 até 2018, este projeto irá contribuir para entender as principais conversões da cobertura e uso do solo e se os mapas do projeto MapBiomias permitem estimativas de taxas e espacialização da mudança de cobertura e uso do solo no bioma Pampa. Estes entendimentos e estimativas são essenciais para a definição de prioridades na conservação da biodiversidade, serviços ambientais e cultura histórica do bioma Pampa.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar e quantificar as conversões na cobertura e uso do solo presentes no bioma Pampa brasileiro, através dos mapas de cobertura e uso do solo do projeto MapBiomias.

1.1.2 Objetivos Específicos

Visando alcançar o objetivo principal, a pesquisa formulou os seguintes objetivos específicos que serão desenvolvidos em artigos:

- ✓ Utilizar Matrizes de Transição para quantificar as mudanças de cobertura e uso do solo no Pampa brasileiro, com base em dados do MapBiomias para os anos de 1987, 1997, 2007 e 2017.

✓ Definir os tipos preferencias de conversões da cobertura e uso do solo e analisar a persistência das áreas de Formação campestre entre 1987 e 2017 para toda a região do bioma Pampa.

1.2 JUSTIFICATIVA

Compreender a configuração das áreas campestres no bioma Pampa gaúcho atualmente significa entender os processos que levaram à transformação do seu estado original por coberturas do solo com diversas formas de manejo. As conversões reduzem a área original e modificam a estrutura da paisagem. Ao mesmo tempo em que a agricultura se expande, os campos naturais diminuem. Assim, em 30 anos a área de campos naturais, apresentou uma redução de aproximadamente 1.460.075 hectares. No ano de 1987, eram 8.212.143 hectares ocupados por campos naturais e em 2017 esse número caiu para 6.752.067 hectares, ao passo que as áreas destinadas à agricultura aumentaram 1.382.399 hectares no mesmo período, passando de 6.902.228 hectares no ano de 1987 para 8.284.628 hectares em 2017 (MAPBIOMAS, 2019).

A prática intensa da agricultura pode ser um fator determinante na transformação do uso do solo. Como consequência, ocorre perda da biodiversidade, pela redução de habitat e pela fragmentação desses ecossistemas, gerando aumento no risco de extinção de espécies nativas da flora e da fauna silvestre (VÉLEZ-MARTIN, et al., 2015). Desta maneira, é fundamental conhecer as dinâmicas de uso do solo ao longo do tempo, o que possibilita inferir cenários que facilitam a conservação das áreas naturais (HUANG et al., 2017; VITTEK et al., 2014).

Paralelamente, o uso de geotecnologias possibilita processar dados diversos, sendo um forte aliado em estudos do meio ambiente e da cobertura do solo. Um exemplo que vem tendo destaque no processamento de dados de sensoriamento remoto é o *Google Earth Engine (GEE)*. Essa plataforma possui um catálogo de petabytes de múltiplas imagens de satélite e conjunto de dados geoespaciais que são disponibilizados gratuitamente a pesquisadores (NEMANI et al., 2011; WOODCOCK et al., 2008).

O *Google Earth Engine (GEE)* disponibiliza imagens globais de satélite (históricas e atuais), fornece ferramentas e poder computacional que permitem analisar e explorar uma grande quantidade de dados. Esses recursos associados com a problemática da mudança das áreas campestres naturais permitem realizar estudos de

mapeamento e classificação do uso e cobertura do solo, para a melhor compreensão das mudanças ocorridas.

O presente estudo busca utilizar as vantagens da tecnologia do GEE para a compreensão da dinâmica da cobertura e uso do solo no bioma Pampa. Esta abordagem contribui para avaliar as mudanças das áreas campestres e relacioná-las com causas e consequências, uma vez que é evidente a degradação no bioma. E, portanto, auxiliar na adoção de medidas de conservação e no planejamento do uso do solo no bioma.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Bioma Pampa

O bioma Pampa abrange uma área de aproximadamente 750.000 km², ocupando 63% do estado do Rio Grande do Sul no Brasil (Figura 1), todo o Uruguai, parte da Argentina e do Paraguai (BOLDRINI, 2009; CRAWSHAW et al., 2007; IBGE, 2004). Esse bioma é formado predominantemente por vegetação campestre, uma das mais ricas do mundo em gramíneas, no entanto, também apresenta vegetação arbustiva e áreas florestais, com alta diversidade de espécies vegetais (BOLDRINI, 2009; OVERBECK et al., 2007).



Figura 1: Área de abrangência do bioma Pampa no Rio Grande do Sul.

Boldrini et al. (2010) apontam que existem mais de 2.200 espécies campestres, destas 213 estão listadas como ameaçadas de extinção no Rio Grande do Sul, segundo a Lista da Flora ameaçada da Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul, (MARQUES et al., 2002). Quanto à fauna, há uma grande diversidade de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção no Pampa (MACHADO et al., 2008).

A riqueza da biodiversidade no Pampa vem sendo ameaçada há muito tempo. Uma das causas foi a implantação do novo Código Florestal (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012), Lei que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, que gerou perda significativa de diversas áreas de preservação permanente (APP), em função dos parâmetros menos restritivos, consolidando novas áreas desprotegidas. A lei prevê a utilização das áreas já convertidas até julho de 2008, considerando áreas que incluem banhados, áreas úmidas e áreas declivosas, como topo de morros, montanhas e serras (CUNHA et al., 2015).

A redação da Lei em vigor tornou mais vulnerável as áreas de preservação, devido à falta de clareza e ambiguidade dos termos norteadores, o que implica em diferentes interpretações, permitindo uma redução ainda maior dessas áreas. Com isto, houve um aumento na descaracterização da vegetação campestre primeiramente explorada pelo uso sustentável da pecuária e depois convertida em lavouras com grande avanço no cultivo da soja (BRASIL Lei nº 12.651/2012, de 25 de maio de 2012).

2.2 *Google Earth Engine (GEE)*

A plataforma *Google Earth Engine (GEE)* utiliza computação em nuvem e grande banco de dados para análise e processamento digital de imagens, com amplo acervo de imagens de sensoriamento remoto (COSTA, 2015; MOORE e HASSEN, 2011). Trabalha com linguagens de programação Java Script e Python, que permite aos usuários desenvolverem seus próprios scripts através do *Google Earth Engine Code Editor* e gerar upload dos scripts disponíveis na biblioteca, ajustando conforme a região de interesse ou da sua própria base de dados (GEE, 2015).

Suas principais aplicações estão na detecção de desmatamento, na classificação da cobertura do solo e suas alterações, nas estimativas de biomassa florestal e de carbono (GEE, 2015).

O *Google Earth Engine (GEE)* pode ser visto em diversos trabalhos, abrangendo diferentes tópicos como mudança global de florestas (HANSEN et al., 2013), mapeamento de risco de malária (STURROCK et al., 2014), mapeamento da expansão

urbana (ZHANG et al., 2015; PATEL et al., 2015), estimativa de rendimento de culturas (LOBELL et al., 2015), mudança global de superfície alagada (PEKEL et al., 2016), mapeamento de inundação (COLTIN et al., 2016), recuperação de áreas atingidas pelo fogo (SOULARD et al., 2016), mapeamento de arroz (DONG et al. 2016). Também foi usado para o monitoramento do clima (CLIMATE ENGINE, 2016), análise de habitat das espécies (MAP OF LIFE, 2016), avaliação da mudança no uso do solo (COLLECT EARTH, 2016) e na análise da dinâmica da cobertura vegetal (HUANG et al., 2017).

2.3 MapBiomias

O Observatório do Clima (OC) é uma rede que une entidades da sociedade civil para discutir as mudanças climáticas no território brasileiro. Promove encontros com especialistas da área, auxilia o governo brasileiro na criação de políticas públicas efetivas em favor da adaptação do país em relação à mudança do clima (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2015).

O Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) é uma iniciativa do Observatório do Clima que concebe estudos sobre a estimativa de produção anual das emissões de gases do efeito estufa no país. Disponibilizam documentos analíticos sobre a evolução das emissões e um portal na internet com os métodos e dados gerados no sistema. As estimativas são geradas conforme as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), com base nos dados dos Inventários Brasileiros de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases do Efeito Estufa elaborado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações (MCTIC) e de dados obtidos de relatórios governamentais, institutos, centros de pesquisa, entidades setoriais e organizações não governamentais (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2013).

O SEEG/OC realizou em março de 2015 um seminário em São Paulo, onde convidou especialistas em sensoriamento remoto e mapeamento de vegetação para analisarem a viabilidade de produzir mapas anuais de cobertura e uso do solo para todo o Brasil de modo que fosse rápido, barato e atualizado e que pudesse ser comparado aos métodos e práticas atuais, além de possibilitar recuperar o histórico das últimas décadas. Assim se originou o Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomias).

Para tornar-se viável os especialistas entenderam que o projeto deveria ser desenvolvido com alto grau de automatização do processo, com a participação da comunidade de entendedores de cada bioma. A partir dessa decisão, estabeleceu-se um contato com o Google que gerou um termo de cooperação técnica para implementação, tendo como base a plataforma *Google Earth Engine* (GEE). O projeto teve início em julho de 2015 com um treinamento da equipe do MapBiomas sobre o *Google Earth Engine* na cidade de *Mountain View*, na Califórnia.

O projeto MapBiomas tem como objetivo contribuir para o entendimento da dinâmica do uso do solo no Brasil e em outros países tropicais, através de uma metodologia rápida, confiável e de custo baixo gerando mapas anuais de cobertura e uso do solo do Brasil do ano de 1985 até os dias atuais e criação de uma plataforma para divulgar a metodologia em outros países interessados em utilizar a mesma base de algoritmos. Também estabelece uma rede colaborativa de especialistas para o mapeamento da cobertura do solo e da dinâmica de mudanças nos biomas brasileiros (MAPBIOMAS, 2019).

Os principais produtos gerados pelo MapBiomas são voltados para especialistas e para o público em geral (MAPBIOMAS, 2016): Dentre os produtos disponibilizados estão:

(i) Mosaicos de imagens de satélite com boa representação (p.ex. menos nuvens) para cada ano da série histórica, com resolução espacial de 30 m. O período do ano em que a imagem é selecionada varia de acordo com a região;

(ii) Mapas de cobertura e uso do solo no formato matricial (*pixel* de 30x30m). Com mapas anuais desde 1985 até o ano de 2018 e legenda compatível com a utilizada no inventário de emissões de gases de efeito estufa no Brasil;

(iii) Relatório anual das transições de cobertura e uso do solo;

(iv) Plataforma de consulta pública (*map server*) com imagens, mapas e a facilidade de se gerar estatísticas sobre cobertura/uso do solo e suas transições;

(v) Plataforma de trabalho (*MapBiomas Workspace*), ambiente onde o trabalho de produção ocorre. Sendo possível ajustar a cada região específica;

(vi) Coleção de *scripts* de processamento e classificação das imagens;

A plataforma possui três ambientes onde o material de trabalho é compartilhado: *Code Editor* do *Google Earth Engine*, *Google Drive* e *MapBiomas Workspace*.

2.4 Mudanças na Cobertura e Uso do Solo

Ao longo dos últimos anos, a dinâmica dos processos de uso e cobertura do solo tem chamado a atenção, principalmente do meio científico, que vem dando ênfase a estudos para identificar e explicar os fatores que causam mudanças no uso do solo (OLIVEIRA et al., 2014). Nesse sentido, o monitoramento do uso e cobertura do solo possibilita a aquisição de informações que auxiliam no manejo adequado das áreas naturais (SANTOS, 2004).

A abordagem de Hessburg et al. (2000) tenta caracterizar e comparar a estrutura da paisagem por meio de série histórica num período de 60 anos, usando fotografias aéreas e índices de área e de diversidade. Paegelow, Olmedo e Toribio (2003) detectaram os tipos de uso do solo e as alterações ocorridas em escala temporal utilizando análise multicritério e cadeias de Markov. Para Graça (2004) as técnicas de subtração de imagens e análise do vetor de mudança se mostraram satisfatórias na monitoração e quantificação de áreas submetidas à exploração madeireira. Lu et al. (2005) detectaram mudanças em uma área florestal por meio de técnicas de detecção binária, usando somente a mudança e não mudança.

Baldi e Paruelo (2008) estudaram as mudanças na estrutura da paisagem em pastagens temperadas da América do Sul em dois períodos de tempo. Os resultados mostraram a magnitude da expansão das mudanças no uso e cobertura do solo. Ferrari (2008) fez uma simulação de tendências da evolução do uso e cobertura da terra da Quarta Colônia, para o ano de 2018, tendo como referência dois períodos distintos do passado. Embora os resultados da simulação fossem satisfatórios, não observou mudanças significativas.

Outros pesquisadores também mapearam as mudanças e padrões de uso e cobertura do solo com o uso de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. Lima (2010) fez uma análise da variação espaço-temporal do uso e cobertura do solo da Bacia do Rio dos Sinos – RS no período de 1993 - 2009. Sua análise apontou principalmente redução das classes de áreas de campo e áreas agrícolas e aumento das áreas de solo exposto e mancha urbana. Com isto inferiu a expansão urbana como um reflexo no aumento do solo exposto próximo às periferias da mesma.

Suarez e Britaldo (2013) abordaram as mudanças de uso e cobertura do solo na Bacia do rio Formiga – MG através dos modelos de simulação espacial e simulação de paisagem. Os resultados do estudo mostraram-se eficazes na avaliação da paisagem em cenário real observado e no cenário simulado para a mesma data.

Jin et al. (2013) usaram duas abordagens para a detecção de mudanças: uma baseada na diferença espectral entre as imagens onde foram feitas análises simultâneas de dados multiespectrais e multitemporais. Essa técnica aborda a diferenciação entre imagens, considerando o valor espectral das mudanças. Os resultados dessa abordagem apresentaram a quantificação das transformações ocorrentes em cada pixel de mudança ou não mudança. A outra abordagem foi a pós-classificação das imagens, sendo realizada classificação independente e comparação. Os resultados mostraram detecção do avanço da mudança em diferentes classes e conseguiram distinguir as mudanças intermediárias dentro dessas classes.

Overmars, Verburg e Veldkamp (2017) fizeram uma projeção usando duas abordagens, a primeira foi uma abordagem indutiva que utiliza análise de regressão e a segunda abordagem dedutiva onde aplica a decisão teórica do autor com os dados de campo, a fim de gerar probabilidades de transição. Concluíram que ambas as abordagens possuíam vantagens dependendo do objetivo do estudo. A abordagem indutiva apresentou melhores resultados na identificação de locais com maior mudança de uso do solo podendo ser aplicada para grandes áreas, enquanto a abordagem dedutiva se mostrou apropriada para as áreas pequenas, apresentando melhorias ao lidar com discontinuidades nos processos de uso do solo.

Pontius et al. (2017) criaram métodos variados para análise detalhada das transições de diferentes categorias em vários intervalos de tempo. Os resultados mostraram que os métodos utilizados foram úteis para detectar e quantificar os padrões de mudanças entre as categorias.

Mengue et al. (2018) quantificou aumento significativo da expansão agrícola sobre campos nativos em Tupanciretã, RS, num período de 30 anos, usando modelos espaciais em sistema de informações geográficas e sensoriamento remoto. Também fez previsões até 2025 através do módulo Land Change Modeler (LCM), do software IDRISI.

2.5 Matriz de Transição

A matriz de transição é baseada em processo estocástico usado para estudar as mudanças que ocorrem entre diferentes classes. Expressa a probabilidade que uma determinada classe tem de permanecer a mesma ou de mudar para outra classe durante um determinado intervalo de tempo (DIMURO et al., 2002). Pode ser utilizada para analisar as mudanças de uso e ocupação do solo. Determina os padrões de transição

associados com as variáveis que se quer pesquisar, possibilitando identificar a dinâmica das alterações do uso e ocupação do solo (BATTY; CHESHIRE, 2011). Seu cálculo é realizado pixel a pixel.

Através da matriz de transição é possível realizar o cálculo das conversões de classes de ocupação por meio de comparação cruzada. Dessa forma, serão indicados os valores percentuais de alteração entre as classes. Esse cálculo se dá entre os intervalos de tempo empregados na classificação do uso e ocupação do solo.

Arce et al. (1997) utilizaram a técnica de simulação de matrizes de transição a partir de observações diamétricas de indivíduos com idades de 6º, 9º e simularam para 12º, para avaliar e simular o crescimento de povoamento de *Pinus taeda* L. Os resultados mostraram que a técnica é viável para um período igual ao intervalo entre estas idades, no entanto, quando simulado para um intervalo maior do que o considerado no estudo seria desaconselhável. Os autores atribuíram esse fato à falta de informação do ciclo completo da dinâmica da floresta em função de serem indivíduos jovens.

Dimuro et al. (2002) conseguiram prever cenários futuros, mostrando que a probabilidade de transição entre classes pode ser analisada de acordo com a sua variação no tempo.

Campos e Queiroz Filho (2017) também utilizaram matriz de transição para o estudo de detecção de mudanças do uso e ocupação do solo no entorno do Centro Educacional Unificado (CEU) da Paz na região norte de São Paulo no período entre 2002 e 2010. Os resultados mostraram que houve um crescimento de Assentamentos Urbanos Precários (AUP) e redução das áreas de mata nas proximidades do CEU.

Podemos destacar os trabalhos que criaram um modelo de matriz de transição e desenvolveram melhorias no método (PONTIUS et al., 2004; RUNFOLA & PONTIUS, 2013; PONTIUS et al., 2017). A seguir será apresentado o modelo de matriz de transição proposto por Pontius et al. (2004), esse método foi utilizado como base nessa pesquisa.

Pontius et al. (2004) elaboraram a matriz de transição para avaliar a mudança total das categorias de uso e cobertura do solo, considerando dois componentes: variação líquida e troca, bem como ganhos brutos e perdas brutas. Nesse método as linhas exibem as categorias de um determinado tempo 1 e as colunas exibem as categorias de tempo 2. A notação P_{ij} indica a proporção da paisagem que transita de uma categoria i para a categoria j . As entradas na diagonal indicam persistência, sendo

P_{ij} a proporção da paisagem que mostra persistência da categoria j . Entradas fora da diagonal indicam transição da categoria i para uma categoria diferente j . Na coluna total, a notação P_{i+} é a proporção da paisagem na categoria i no tempo 1, sendo a soma de todos os j de P_{ij} . Já a linha total, a notação P_{+j} indica a proporção da paisagem na categoria j no tempo 2, sendo a soma de todos os i de P_{ij} . Esse método apresenta ainda uma linha e uma coluna adicional. A coluna adicional à direita indica a proporção da paisagem que experimenta a perda bruta da categoria i entre o tempo 1 e o tempo 2, e a linha adicional na parte inferior indica a proporção da paisagem que experimenta o ganho bruto da categoria j entre o tempo 1 e o tempo 2 (Tabela 1).

Tabela 1: Matriz de tabulação cruzada geral para comparar dois mapas de diferentes pontos no tempo.

	Tempo 2				Total tempo 1	Perda
	Categoria 1 (j)	Categoria 2 (j+1)	Categoria 3 (j+2)	Categoria 4 (j+3)		
Tempo 1						
Categoria 1 (i)	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{1+}	$P_{1j+} - P_{11}$
Categoria 2 (i+1)	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{2+}	$P_{2j+} - P_{22}$
Categoria 3 (i+2)	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	P_{3+}	$P_{3j+} - P_{33}$
Categoria 4 (i+3)	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	P_{4+}	$P_{4j+} - P_{44}$
Total tempo 2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}	1	
Ganho	$P_{i+1} - P_{11}$	$P_{i+2} - P_{22}$	$P_{i+3} - P_{33}$	$P_{i+4} - P_{44}$		

Fonte: transcrito de Pontius et al. (2004)

Os autores utilizaram essa matriz de tabulação cruzada para avaliar a mudança total da cobertura do solo no centro de Massachusetts, no período de 1971 e 1999. Concluíram que esse método é eficiente na abordagem obtendo mais níveis detalhados de observação, além da persistência, a mudança líquida e total bem como os ganhos e perdas brutas no período em análise, permitindo maior atenção nas transições mais importantes. Portanto, os autores consideraram esse método inovador, pois caracteriza as transições de acordo com o período de tempo analisado.

3. REFERÊNCIAS

ABREU, K. M. P; COUTINHO, L. M. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem. **VÉRTICES**, Campos dos Goytacazes/RJ, v.16, n.1, p. 173-198, jan./abr. 2014.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2013.

ARCE et al. 1997. Utilização das matrizes de transição na avaliação e simulação precoces do crescimento de povoamentos de *Pinus taeda* L. *Revista Floresta* 27 (1/2): 83-98. Disponível em <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/2299>>Acesso em 28 fev. 2019.

ANDERSON, G. L.; HANSON, J. D.; HAAS, R. H. Evaluating landsat thematic mapper derived vegetation indices for estimating above-ground biomass on semiarid rangelands. *Remote Sensing of Environment*, 1993. v. 45, n. 2, p. 165–175.

ARAÚJO, G.H. de S. et al. *Gestão Ambiental de Áreas degradadas*. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2007, 320p.

ARSANJANI J.J., KAINZ W., MOUSIVAND A.J. Tracking dynamic land-use change using spatially explicit Markov Chain based on cellular automata: the case of Tehran. *International Journal of Image & Data Fusion*. 2011 Dec; 2 (4):329–45.

BALDI, G., and J. M. PARUELO. 2008. Land-use and land cover dynamics in South American temperate grasslands. *Ecology and Society* 13(2): 6. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art6/>

BATTY, M; CHESHIRE, J. Cities as flows, cities of flows. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 38, n. 2, p. 195-196, 2011.

BOLDRINI, I. I.; FERREIRA, P. M. A.; ANDRADE, B. O.; SCHNEIDER, A. A.; SETUBAL, R. B.; TREVISAN, R; FREITAS, E.M. *Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica*. Porto Alegre, editora Pallotti, 2010. 64 p.

BOLDRINI, I. I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. *In*: PILLAR, V.P.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M.S; JACQUES, A.V.A. (ed). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. 403p.

BRASIL, Decreto-Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 maio 2012. Seção 1, p. 37.

CAMPOS, P. B. R.; DE QUEIROZ FILHO, A. P. 2017. Matriz de transição na detecção das mudanças do uso e ocupação do solo: estudo de caso do Centro Educacional Unificado da PAZ – zona norte de São Paulo. **Ra'e Ga O espaço geográfico em análise**, Curitiba, v 42, p. 2255-238.

CAPRA, F.A *teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos*. São Paulo: Cultrix, 2006.

CLAESSENS, L. et al. Modelling interactions and feedback mechanisms between land use change and landscape processes. *Agriculture, ecosystems & Ecology*, v. 129, n. 1-3, p. 157-170, jan. 2009.

CLIMATE ENGINE, 2016. Desert Research Institute, University of Idaho. <http://climateengine.org>

COLLECT EARTH, 2016. United Nations Food and Agriculture Organization. <http://www.openforis.org/tools/collectearth.html>

COLDITZ, R. R. *et al.* **Land cover classification with coarse spatial resolution data to derive continuous and discrete maps for complex regions.** *Remote Sensing of Environment*, v. 115, n. 12, p. 3264–3275, 2011.

COLTIN, B.; MCMICHAEL, S.; SMITH, T.; FONG, T. **Automatic boosted flood mapping from satellite data.** *Int. J. Remote Sens.*, 37 (5), p. 993-1015, 2016.

CORDEIRO, J. L. P.; HASENACK, H. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. **Pillar, V. D.; Müller, S. C.; Castilhos, Z. M. S.; Jacques, A. V. A. Campos Sulinos conservação e uso sustentável da biodiversidade.** Brasília - DF: Ministério do Meio Ambiente, 2009, p. 285–299.

COSTA, V. Indígenas utilizam tecnologia contra desmatamento. **Publicação da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência.** JORNAL DA CIÊNCIA, 2015. Disponível em: <http://www.jornaldaciencia.org.br/indigenas-utilizam-tecnologia-contr-o-desmatamento/> Acesso em: 28/01/2019.

CUNHA, H. N. da.; NÓBREGA, M. R. R.; FIORI, D.; FILIPPINI ALBA, J. M.; MIURA, A. K.; SALDANHA, D. L. **Mapeamento de áreas de preservação permanente de topo de morro na bacia hidrográfica do Alto Camaquã, RS, nos termos da resolução CONAMA de 2002 (revogado) e do Novo Código Florestal de 2012.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015.

CRAWSHAW, D.; DALL'AGNOL, M.; CORDEIRO, J.L.P.; HASENACK, H. Caracterização dos campos sul-rio-grandenses: uma perspectiva da ecologia da paisagem. **Boletim Gaúcho de Geografia**, n.33, p.233-252, 2007.

DIMURO, G. P.; REISER, R. H.; COSTA, A. C.; SOUZA, P. L. R. Modelos de Markov e Aplicações. VI Oficina de Inteligência Artificial, Pelotas: Educat, p. 37-59, 2002.

DONG, J.; XIAO, X.; MENARGUEZ, M. A.; ZHANG, G.; QIN, Y.; THAU, D. & BIRADAR, C. 2016. Moore Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 185: 142-154.

FERRARI, R. **Modelagem Dinâmica do Uso e Cobertura da Terra da Quarta Colônia, RS.** 2008. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FOLEY, J. A.; FRIES, De. R.; ASNER, G. P. *et al.* 2005. Global consequences of land use. *Science* 309:570-574.

GALETTO, L.; AGUILAR, R.; MUSICANTE, M.; ASTEGIANO, J.; FERRERAS, A.; JAUSORO, M.; TORRES, C.; ASHWORTH, L. and EYNARD, C. 2007. Fragmentación de hábitat, riqueza de polinizadores, polinización y reproducción de plantas nativas en el Bosque Chaqueño de Córdoba, Argentina. *Ecología Austral* 17 (1):67-80.

GAO, J. (2006) Quantification of grassland properties: how it can benefit from geoinformatic technologies? *Int J Remote Sens* 27:1351–65.

GÓMEZ GIMÉNEZ, M. *et al.* Determination of grassland use intensity based on multi-temporal remote sensing data and ecological indicators. **Remote Sensing of Environment**, 1 set. 2017. v. 198, p. 126–139. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302638>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

GOOGLE EARTH ENGINE TEAM. **Google Earth Engine: Uma plataforma de análise geoespacial de escala planetária.** 2015. Disponível em: <https://earthengine.google.com/platform/>> Acesso em: 10 dez. 2018.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote. Sens. Environ.* 2017, 202, 18–27.

GORELICK, Noel. Google Earth Engine. In: **EGU General Assembly Conference Abstracts.** 2013. p. 11997.

GRAÇA, P. M. L. A. **Monitoramento e caracterização de áreas submetidas à exploração florestal na Amazônia por técnicas de detecção de mudanças.** 2004. 275p. (INPE-13644-TDI/1046). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2004.

GRACIOLI, C. R. **Efeitos da silvicultura do eucalipto na dinâmica da vegetação em áreas de pecuária no Rio Grande do Sul, Brasil.** 2010. 145f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

HANSEN, M.C.; POTAPOV, P. V.; MOORE, R.; HANCHER, M. *et al.* (2013). **High-resolution global maps of 21st-century forest cover change.** *Science*, v.342, p. 850-853.

HESSBURG, P.F. *et al.*: Recent changes (1930s-1990s) in spatial patterns of interior northwest forest, USA, **Forest Ecology and Management**, v. 136, p 53-83, 2000.

HILL, M. J. *et al.* Estimation of pasture growth rate in the south west of Western Australia from AVHRR NDVI and climate data. **Remote Sensing of Environment**, 2004. v. 93, n. 4, p. 528–545.

HOUSMAN, I.; TANPIPAT, V.; BISWAS, T.; CLARK, A.; STEPHEN, P.; MAUS, P. & MEGOWN, K. 2015. *Monitoring forest change in southeast Asia: case studies for USAID Lowering Emissions in Asia's Forests*. Salt Lake, U.S. 16p.

HUANG, H.; CHEN, Y.; CLINTON, N. *et al.*, (2017). Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 202: 166-176.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2004. Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE. Acessível em www.ibge.gov.br.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ª ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009 598 p..

JIANG, Y.; CARROW, R. N. Assessment of Narrow-band Canopy Spectral Reflectance and Turfgrass Performance under Drought Stress. *Hort Science*, v. 40, n.1, p242-245, 2005.

JIN, S.; YANG, L.; DANIELSON, P.; HOMER, C.; FRY, J.; XIAN, G. A. Comprehensive change detection method for updating the National Land Cover database to circa 2011. **Remote Sensing of Environment**, v. 132, p. 159-175. 2013.

KÖPPEN, W. **Climatología**. México, DF : Fondo de Cultura Económica, 1948. 71 p.

KUMAR L.; MUTANGA O. Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential. **Remote Sens.** 2018, 10, 1509

LIMA, E. C. **Análise espaço-temporal do uso e ocupação do solo da bacia do rio dos sins/RS**. Trabalho de Graduação, Departamento de Geografia, UFRGS. Porto Alegre, 2010.

LOBELL, D.; THAU, D.; SEIFERT, C.; ENGLE, E.; LITTLE, B. **A scalable satellite-based crop yield mapper**. *Remote Sens. Environ.*, v.164, p. 324-333, 2015.

LORENA, R. B. **Evolução do uso da terra em porção da Amazônia Ocidental (Acre), através da técnica de detecção de mudanças**. 2003. 114p. (INPE-9650-TDI/846). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2003.

LU, D.; MAUSEL, P.; BATISTELLA, M.; MORAN, E. Land-cover binary change detection methods for use in the moist tropical region of the Amazon: a comparative study. **International Journal of Remote Sensing**. v. 26, n.1, p. 101-114, 2005.

LU, D.; MORAN, E.; BATISTELLA, M. Linear mixture model applied to Amazonian vegetation classification. **Remote Sensing of Environment**, v.4, p.456-469, 2003.

MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. (eds.). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. 1. ed. Brasília, DF: MMA (Biodiversidade 19), 2 volumes, 2008.

MAPBIOMAS, 2019. <http://mapbiomas.org/>>Acesso em: 20. jan. 2019.

MAP OF LIFE, 2016. <http://www.mol.org>>Acesso em: 04. jan. 2019.

MENGUE, V. P.; SILVA, T. S.; FONTANA, D. C.; SCOTTÁ, F. C. Detecção de mudanças espaciais relacionadas à expansão da fronteira agrícola no Bioma Pampa. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 1, p. 40-70, janeiro/março, 2018. doi: 10.14393/rbcv70n1-45189

MMA. **Bioma Pampa. - Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/pampa>> Acesso em: 04 jan. 2019.

Ministério do Meio Ambiente. 2007. Mapa de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros. Disponível em <http://www.mma.gov.br/portabio>> Acesso em: 27 jul. 2020.

MOORE, R. T.; HANSEN, M. C. **Google Earth Engine: a new cloud-computing platform for global-scale earth observation data and analysis**. American Geophysical Union, Fall Meeting, 2011.

MOREIRA, M. A. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 320p.

NEMANI, R.; VOTAVA, P.; MICHAELIS, A.; MELTON, F. & MILESI, C. 2011. Collaborative supercomputing for global change science, *EOS Transactions. American Geophysical Union*, 92: 109-110.

NÓBREGA, M. R. R. ; CUNHA, H. N. ; MIURA, A. K. ; ALBA, J. M. F. . **Estimativa de áreas degradadas no município de Manoel Viana - RS por meio da técnica do modelo linear de mistura espectral**. 2012. (Apresentação de Trabalho/Congresso). n: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA CLIMA TEMPERADO, 4., 2012, Pelotas. Ciência e inovação para 2050: qual o futuro que queremos? Resumos e palestras... Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. 1 CD-ROM.

NORDBERG M. L., EVERTSON J. (2003) Monitoring change in mountainous dry-heath vegetation at a regional scale using multitemporal landsat TM Data. *Ambio*32:502–9.

NOVO, E. M. L. de MORAES. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. – 4ªed. São Paulo: Blucher, 2010.

OC – OBSERVATORIO DO CLIMA. Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) – Mudança de Uso da Terra. **Observatório do Clima**[online],2013.

OC – OBSERVATORIO DO CLIMA. **Análise da evolução das emissões de GEE no Brasil (1970–2013) e suas implicações para políticas públicas.** São Paulo: Observatório do Clima, 2015.

OLIVER Y. M., ROBERTSON M. J., WONG M. T. F. (2010) Integrating farmerknowledge, precision agriculture tools, and crop simulation modeling to evaluate management options for poor-performing patches in cropping fields. *Eur J Agron* **32**:40–50.

OVERBECK, G. E. *et al.* Os Campos Sulinos: um bioma negligenciado. In: PILLAR, V. D.; MULLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A. (Org.). **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade.** 1a ed. Brasília - DF: MMA, 2009, p. 28–40.

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

OVERMARS, K. P.; VERBURG, P. H.; VELDKAMP, T. (A. . Comparison of a deductive and an inductive approach to specify land suitability in a spatially explicit land use model. **Land Use Policy**, v. 24, n. 3. P. 584-599, jul. 2007.

PACIFICI, F.; DEL FRATE, F.; SOLIMINI, C.; EMERY, W. J. An innovative neural-net method to detect temporal changes in high-resolution optical satellite imagery. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.45, n.9, p.2940-2952, 2007.

PAEGELOW, M.; OLMEDO, M. T. C.; TORIBIO, J. M. Cadenas de Marko, Evaluación Multicriterio y Evaluación Multiobjetivo para La Modelización Prospectiva Del Paisaje. **Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica**, n. 3, p. 22-44, 2003.

PATEL, N.; ANGIULI, E.; GAMBA, P.; *et al.* (2015). **Multitemporal settlement and population mapping from Landsat using google earth engine.** *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, v.35, p. 199-208.

PEKEL, J.F.; COTTAM, A.; GORELICK, N.; BELWARD, A.S. **High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes**, *Nature Geoscience*, v. 540 (7633), p. 418-122, 2016.

PILLAR, V. P.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A. (eds.). **Campos Sulinos, conservação e uso sustentável da biodiversidade.** Brasília: MMA, 2009. 403 p.

PONTIUS, Jr. R. G.; RITHIVASAN, R.; SAULS, L.; ZHANG, Y. (2017) Methods to summarize change among land categories across time intervals, *Journal of Land Use Science*, 12:4, 218-230, DOI: 10.1080/1747423X.2017.1338768

ROSA. M. **Análise e comparação entre diferentes metodologias de mapeamento e monitoramento da cobertura florestal de Mata Atlântica.** *Boletim Paulista de Geografia*, v.95, p.25-34, 2016.

RUNFOLA, D. S. M.; & PONTIUS, Jr. R. G. (2013). Measuring the temporal instability of land change using the Flow matrix. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(9), 1696–1716. doi:10.1080/13658816.2013.792344

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

SCHUSTER, C. et al. Grassland habitat mapping by intra-annual time series analysis - Comparison of RapidEye and TerraSAR-X satellite data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 2015. v. 34, n. 1, p. 25–34. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2014.06.004>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

SOARES-FILHO, B. S.; ASSUNÇÃO, R. M.; PANTUZZO, A. Modeling the spatial transition probabilities of landscape dynamics in na Amazonian colonization frontier. **Bio Science**, (51): 1039-1046, 2001.

SOULARD, C.E.; ALBANO, C.M.; VILLARREAL, M.L.; WALKER, J.J. **Continuous 1985–2012 Landsat monitoring to assess fire effects on meadows in Yosemite National Park, California**. *Remote Sens.*, v.8 (5), p. 371, 2016.

SOUZA Jr., C. M., SHIMBO, J. Z., ROSA, M. R., PARENTE, L. L., ALENCAR, A. A., RUDORFF, B. F. T., HASENACK, H., MATSUMOTO, M., FERREIRA, L. G., SOUZA-FILHO, P. W., OLIVEIRA, S. W. de, ROCHA, W. F., FONSECA, A. V. MARQUES, C. B., DINIZ, C. G., COSTA, D., MONTEIRO, D., ROSA, E. R., VÉLEZ-MARTIN, E., WEBER, E. J., LENTI, F. E. B., PATERNOST, F. F., PAREYN, F. G. C., SIQUEIRA, J. V., VIERA, J. L., FERREIRA-NETO, L. C., SARAIVA, M. M., SALES, M. H., SALGADO, M. P. G., VASCONCELOS, R., GALANO, S., MESQUITA, V. V. & AZEVEDO, T. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(17), 2735. <https://doi:10.3390/rs12172735>.

SUAREZ, A. F.; SOARES FILHO, B. S. Estudo da mudança de uso e cobertura do solo na bacia do rio formiga-MG. **Revista Brasileira de Cartografia** (2013) N0 65/3: 417-429 Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/595/571> >. Acesso em: 28 fev. 2019.

SUN, B.; LI, Z.; GAO, Z.; GUO, Z.; WANG, B.; HU, X.; BAI, L. Grassland degradation and restoration monitoring and driving forces analysis based on long time-series remote sensing data in Xilin Gol League. **Acta Ecologica Sinica**, 1 ago. 2017. v. 37, n. 4, p. 219–228. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1872203217300367> Acesso em: 04 mar. 2019.

STURROCK, H. J. W.; COHEN, J. M.; KEIL, P.; TATEM, A. J.; LE MENACH, A.; NTSHALINTSHALLI, N. E.; HSIANG M. S.; GOSLING, R. D. (2014). **Fine-scale malaria risk mapping from routine aggregated case data**. *Malaria journal*, v.13 (1), p. 1-9.

TOIVONEN, T., LUOTO, M. (2003) Landsat TM images in mapping of seminatural grasslands and analysing of habitat pattern in an agricultural landscape in south-west Finland. *Int J Geogr* **181**:49–67.

TUCKER, C. J.; VANPRAET, C. L.; SHARMAN, M. J.; VAN ITTERSUM, G. Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the senegalese sahel: 1980-1984. **Remote Sensing of Environment**, 1985. v. 17, n. 3, p. 233–249.

TRENTIN, C. B. **Análise da resposta espectral da vegetação da área de proteção ambiental (APA) do Ibirapuitã em imagens do sensor EOS/MODIS associadas ao solo e aos elementos do clima.** 2011. 73 f., il. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Meteorologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

VÉLEZ-MARTIN, E.; ROCHA, C. H.; BLANCO, C.; AZAMBUJA, B. O.; HASENACK H.; PILLAR, V. P. Conversão e fragmentação. *In*: 1a (Org.). **V.D. Pillar & O. Lange. Os campos do sul.** Porto Alegre: Rede de campos Sulinos - UFRGS, 2015, p. 123–129.

VITTEK, M.; BRINK, A.; DONNAY, F.; SIMONETTI, D. & DESCLÉE, B. 2014. Land cover change monitoring using Landsat MSS/TM satellite image data over West Africa between 1975 and 1990. *Remote Sensing*, **6**: 658-676.

WOODCOCK, C. E.; ALLEN, R.; ANDERSON, M.; BELWARD, A.; BINDSCHADLER, R.; COHEN, W.; GAO, F.; GOWARD, S. N.; HELDER, D.; HELMER, E.; NEMANI, R.; OREOPOULOS, L.; SCHOTT, J.; THENKABAIL, P. S.; VERMOTE, E. F.; VOGELMANN, J.; WULDER, M. A.; WYNNE, R. (2008). Free access to Landsat imagery. *Science*, **320**: 1011.

ZHANG, Q.; LI, B.; THAU, D.; MOORE, R. **Building a better urban picture: combining day and night remote sensing imagery.** *Remote Sens.*, v.7 (9), p. 11887-11913, 2015

Capítulo I – Resultados apresentados na forma de artigos científicos, cuja formatação segue as normas da revista a qual foi submetido.

Cap. I: Artigo 1: ANÁLISE DAS CONVERSÕES DE USO E COBERTURA DO SOLO DO BIOMA PAMPA BRASILEIRO

ANALYSIS OF CONVERSIONS OF USE AND SOIL COVERAGE OF THE BRAZILIAN PAMPA BIOME

Carmen Viviane de OLIVEIRA¹, Tatiana Mora KUPLICH² & Juliano SCHIRMBECK³

- (¹) Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil (nemracvo@gmail.com).
- (²) Centro Regional Sul (CRS), Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Campus da Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-970, Santa Maria, RS, Brasil (tatiana.kuplich@inpe.br).
- (³) Centro de Ciências Exatas e Tecnologia - Engenharia Elétrica, UNIVATES. Av. Avelio Talini, 171, CEP 95914-014, Lajeado, RS, Brasil (schirmbeck.j@gmail.com).

Resumo. O objetivo deste trabalho foi analisar as conversões da cobertura de campos nativos no bioma Pampa. Os dados espaciais anualmente atualizados de cobertura e uso do solo adaptados do MapBiomias de 1987, 1997, 2007 e 2017 foram utilizados para examinar as mudanças de cobertura campestre em outros usos do solo. O procedimento de análise incluiu matrizes de transição e as métricas de incidentes e estados. A área de agricultura aumentou aproximadamente 2.545.002 hectares entre 1987 e 2017, enquanto a de campos nativos reduziu 2.662.450 hectares. As métricas incidentes e estados indicam que 69,02% da área do Pampa remanesceu como uma única classe em todos os intervalos de tempo, enquanto 18,64% alterou-se para uma outra classe, 9,53% mostrou transição entre duas classes e apenas 2,81% teve transição entre várias classes. Nós demonstramos que a expansão da agricultura sobre a formação campestre foi notável durante todos os intervalos anuais deste estudo.

Palavras-chave. Matriz de transição, Conversões, Bioma Pampa.

Abstract. This work aimed to analyse the land conversions in the native grasslands of the Pampa biome. The annually updated spatial data of land use and land cover adapted from MapBiomias maps of 1987, 1997, 2007 and 2017 were used to examine the changes / conversions of grassland cover into other land use and land cover. The analysis was ascertained with transition matrices and the incidence and state metrics in the Google Earth Engine (GEE) platform. Agriculture increased approximately 2,545,002 hectares between 1987 and 2017, while the area of native grassland reduced 2,662,450 hectares. The incidence and state metrics reveal that 69.02% of the Pampa area remained as a single class in all time intervals, while 18.64% changed to one class and another, 9.53% showed a transition between two classes, and only 2.81% had a transition between several classes. We demonstrated that the expansion of agriculture over grasslands formations was notable during all the intervals in this study.

Keywords. Transition matrix, Conversions, Pampa Biome.

1 Introdução

O bioma Pampa apresenta domínio de vegetação herbácea com árvores e arbustos esparsos, mais frequentes próximos a corpos d'água, é formado por ecossistemas naturais com alta diversidade biológica, sendo considerada de extrema importância a conservação das suas fauna e flora (BOLDRINI et al., 2010; OVERBECK et al., 2007). Exclusivamente sul-americano, o bioma estende-se sobre partes de terras desde o sul do Brasil até o Uruguai e Argentina (SUTTIE et al., 2005).

Nas duas últimas décadas, vastas áreas originalmente cobertas com campos foram ocupadas e transformadas em usos diversos, sem que houvesse o estabelecimento de limites pelo poder público e sociedade (KUMAR et al., 2015; PILLAR et al., 2009). A conversão da vegetação campestre em lavouras, pastagens cultivadas e plantações de árvores, constituem as principais ameaças às suas características naturais (PILLAR & LANGE, 2015).

A velocidade das mudanças é consequência da prática intensa da agricultura, movida à oportunidade econômica da expansão do crédito rural, políticas e mercados (KUMAR et al., 2015; LAMBIN et al., 2001). Embora a agricultura seja importante no fornecimento de alimentos à população humana, estimula a perda de serviços ecossistêmicos, como habitats para a manutenção da biodiversidade, qualidade do lençol freático, fertilidade do solo, entre outros. Há, portanto, a necessidade de compreender as transformações ocorridas na cobertura e uso do solo do Pampa, para o fornecimento de subsídios para a preservação e ocupação controlada do bioma.

Estudos de mapeamento de cobertura vegetal e uso do solo do Bioma Pampa, realizados com base em imagens do satélite Landsat, mostraram a importância das geotecnologias em tarefas desta dimensão (WEBER et al., 2016; HASENACK et al., 2015). No entanto, considera-se que o uso de imagens com periodicidade de 16 dias, como do Landsat, possa apresentar limitações devido à dificuldade de aquisição de imagens ao longo do ano, dada a cobertura de nuvens. E também, a interpretação das classes de uso, principalmente as classes vegetais, que apresentam padrões espectrais distintos devido à sazonalidade climática (KUPLICH et al., 2013), podem ser comprometidas.

Nesse sentido, o presente trabalho buscou analisar as conversões da cobertura e uso do solo nos campos nativos do bioma Pampa brasileiro, com base nos mapas anuais dos biomas brasileiros do projeto MapBiomas, que utiliza imagens do satélite Landsat. Os dados do MapBiomas possuem acurácia anual para cada classe de uso e cobertura de

1985 a 2018, cujas estimativas da acurácia têm como base a avaliação de uma amostra de pixels, denominada base de dados de referência, composta por ~75.000 amostras. Esse número foi determinado por técnicas de amostragem estatística. Para cada ano, os pixels da base de dados de referência foram avaliados por técnicos treinados em interpretação visual de imagens Landsat. A avaliação da acurácia se deu por métricas que comparam a classe mapeada com a avaliada. A acurácia geral para o mapeamento do MapBiomias foi de 82,4% (MapBiomias, 2020).

A hipótese norteadora é que a agricultura é a maior causa de conversões de cobertura campestre nativa.

2 Área, materiais e métodos

2.1 Localização da área

A área de estudo compreende o limite oficial mais recente do bioma Pampa (IBGE, 2019) no estado do Rio Grande do Sul, localizado no extremo sul do Brasil (Figura 1). O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) recentemente atualizou e publicou o mapa biomas e o mapa do sistema costeiro-marinho, ambos compatíveis com a escala 1:250 000, no qual houve um refinamento no traçado do limite do bioma Pampa, ocorrendo a inclusão dos campos com Barba-de-Bode, devido à presença de áreas campestres que não tinham sido incluídas no bioma Pampa na representação na escala 1:5 000 000 (IBGE, 2019). Anteriormente a área estava totalizada em 176.496 km² (IBGE, 2004), atual possui aproximadamente 194.231 km², ocupando 2,3% do território nacional e 68,8% do território estadual (IBGE, 2019).

O clima predominante conforme a classificação de Köppen, (Köppen, 1948), é do tipo Cfa (subtropical chuvoso com verões quentes). A temperatura média anual é de 18,3° C, sendo o mês de janeiro o mais quente com temperatura média de 23,8° C e junho o mês mais frio com temperatura média de 13,0° C (INMET, 1992). A precipitação total anual é de 1.534 mm, a menor precipitação ocorre em abril, 112,5 mm, e a maior em setembro, 143,9 mm (ALVARES et al., 2013).

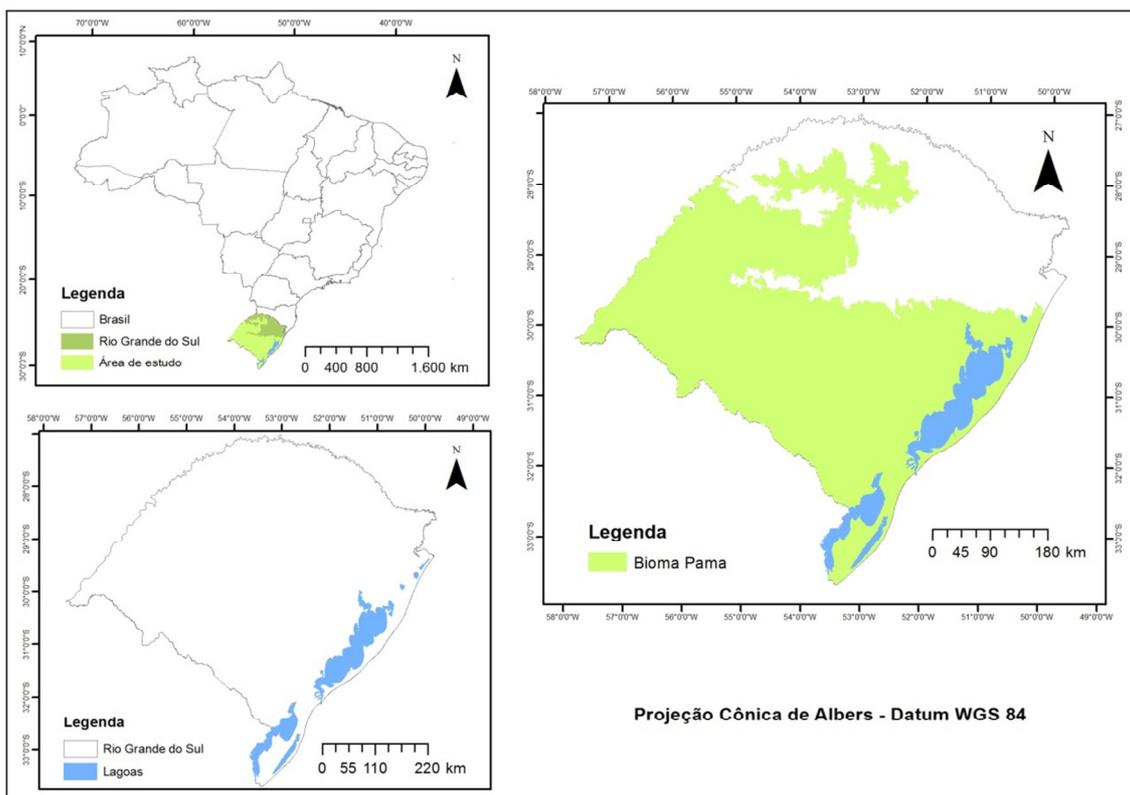


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

Figure 1. Location map of study area.

2.2 Material Utilizado

O material utilizado compreende os mapas anuais de cobertura e uso do solo da coleção 4.1, disponíveis na plataforma do projeto MapBiomias. O MapBiomias utiliza imagens Landsat (5,7 e 8) para mapear a cobertura e uso do solo dos biomas brasileiros. O processamento dos dados é realizado na plataforma *Google Earth Engine* (GEE) e baseado em nuvens de computadores. Para cada bioma foram desenvolvidos procedimentos específicos que variam desde a seleção das imagens até o método estatístico mais apropriado para determinar a mudança da cobertura do solo ao longo do tempo e do espaço.

Para o bioma Pampa a definição de seleção de imagens ocorreu de modo a minimizar a confusão entre a vegetação natural e a cultivada, visto que o clima desse bioma é diferente da maioria dos outros biomas brasileiros, não apresentando uma estação seca bem definida. Isso implica na sazonalidade da temperatura como o fator determinante do comportamento fisiológico da vegetação ao longo do ano (MAPBIOMAS, 2020), dadas condições hídricas adequadas para a vegetação. Sendo

assim, é possível verificar o grau de preservação da vegetação nativa, o padrão de urbanização e o nível de degradação ambiental, como também investigar fatores que podem estar associados a esses processos. Os mapas selecionados correspondem aos anos de 1987, 1997, 2007 e 2017, período definido de modo que envolvesse toda a série histórica, cujo objetivo é analisar as mudanças ocorridas em cada ano.

O processamento e análise dos dados foram desenvolvidos pelo *Code Editor* do GEE a partir de *Scripts* definidos pelo MapBiomas, os quais detêm todas as informações e parâmetros específicos para gerar o mapa para cada ano correspondente e *scripts* desenvolvidos para este estudo. Também foi utilizado o software ArcGis 10.2TM (ESRI, 2014), para análises de área de cada uma das classes presentes na área do estudo.

2.3 Compatibilização de classes

O MapBiomas produziu mapas digitais de cobertura e uso do solo, denominados Coleções. Foi usada a Coleção 4.1 lançada em março de 2020 como uma revisão melhorada dos mapas anuais no período dos 34 anos (1985-2018), mantendo-se as 27 classes da Coleção 2.0.

O primeiro passo foi reduzir o número de classes, agregando-as. As classes foram agregadas por similaridade em termos de funcionamento e estrutura, coincidentemente o grau de mudança acompanhou. As classes com pequenas mudanças foram agrupadas e mantidas as classes envolvidas em grandes mudanças. Esse processo possibilitou a redução das 27 classes originais em seis classes (Tabela 1).

Como os dados originais do MapBiomas foram confeccionados seguindo a representação padrão do GEE (Lat/long e WGS 84), foi necessário uma reprojeção equivalente para realizar os cálculos de área de modo a evitar o máximo de distorções possíveis. Os dados foram reprojatados, criando-se uma projeção própria, através da ferramenta “*projections and transformations*” do software ArcGis 10.2TM (ESRI, 2014). Assim, optou-se por transformar para a projeção Cônica Equivalente de Albers mantendo o sistema geodésico de referência datum WGS84.

Tabela 1: Agregação das classes de interesse de cobertura e uso do solo.

Table 1: Aggregation of cover and land use interest classes.

Classes	ID
	1
	12
	18
	22
	26
	27

(modificado de MapBiomias, 2019).

2.3.1 Incidentes e estados

Incidentes e estados são métricas propostas por Pontius et al. (2017) que apresentam de forma resumida as mudanças da cobertura e uso do solo ao longo de um período no tempo. Incidentes referem-se ao número de vezes que o pixel muda em espaço de tempo e estados referem-se ao número de classes que o pixel representa em tempos distintos. Esse método possibilita visualizar as alterações que um determinado pixel experimenta em intervalos de tempo e fornecer informações importantes sobre a trajetória de mudança. Sendo possível perceber se a mudança ocorrida foi permanente ou temporária. Quando uma mudança for temporária, significa que ela alternou entre as classes.

O processamento de incidentes e estados foi desenvolvido pelo *Code Editor* do GEE. O número de incidentes pode variar de 0 (zero), quando não ocorreu mudança, significa persistência completa, para o número de pontos de tempo menos 1, representando mudança em todos os intervalos de tempo. Os estados podem variar de 1, indicando persistência completa, até o número total de classes (PONTIUS et al., 2017).

No presente estudo, o número de incidentes variou de 0 a 3 e o número de estados 1 a 4, resultando em quatro combinações de incidentes e estados. Incidentes = 0 implica em estados = 1, significa que um pixel persistiu como uma única classe em todos os intervalos de tempo, determina-se como persistência. Incidentes = 1 implica em estados = 2, significa que um pixel sofreu uma única alteração, denomina-se um incidente. Incidentes > 1 e estados = 2 significa que um pixel alternou entre duas classes, determina-se como alternância. Incidentes > 1 e estados > 2 significa que um pixel experimentou mais de duas classes, determina-se vários estados. A partir desses dados gerou-se mapas de incidentes, estados e suas combinações para a extensão espacial. Importante ressaltar que essas métricas resumem as mudanças, mostrando a mudança que aconteceu em todo o intervalo de tempo, ignorando as transições que ocorrem entre as classes nos diferentes intervalos de tempo.

2.3.2 Análise de mudanças do uso do solo com a matriz de transição

Para a análise de conversão de uso do solo os dados *raster* foram cruzados através da ferramenta “*tabulate area*” do software ArcGis 10.2TM (ESRI, 2014). Assim, foram cruzados os dados *raster* de 1987 com 1997, 1997 com 2007, 2007 com 2017 e 1987 com 2017 para os quais se calculou as áreas das classes contidas nos mesmos. Por

fim, os dados calculados foram exportados no formato de texto e inseridos no Excel, para elaborar a matriz de transição dos dados e conseguir analisar as mudanças de cada classe de um ano para o outro. Para cada ano as áreas foram quantificadas em hectares, obtendo-se os dados necessários para a confecção da matriz de transição, conforme mencionado anteriormente. A matriz apresenta as áreas em hectares ocupadas por cada classe de cobertura e uso do solo quanto às conversões avaliadas, buscando identificar quais classes sofreram mudanças mais significativas, em especial as que contribuíram na redução das áreas campestres, bem como a persistência de cada classe.

Esta análise foi baseada em Pontius et al. (2004) e Runfola e Pontius (2013) que examinaram as alterações do uso do solo através do registro das mudanças em matriz de transição, por meio da identificação das alterações mais significativas (Tabela 2). A notação C_{ij} representa a alteração do uso do solo, em hectares, da classe i para a classe j , sendo a classes i nas colunas, correspondendo ao tempo 1 a classes j nas linhas, correspondendo ao tempo 2. Os valores C_{ij} correspondem à persistência da classe e estão na diagonal descendente da matriz.

A notação $\sum_{j=1}^n C_{j1}$ na linha total tempo 1, corresponde ao total da classe 1, sendo a soma de todos os valores C_{ij} ao longo de i . E a notação $\sum_{i=1}^n C_{1i}$ na coluna total tempo 2 soma de todos os valores C_{ij} ao longo de j . A coluna dos ganhos apresenta o total de ganhos relativos a uma dada classe de uso do solo j entre os tempos 1 e 2. O valor do ganho de uma dada classe é calculado pela diferença entre o total da linha e a persistência para a classe correspondente. A linha das perdas corresponde ao total de perdas relativas a uma dada classe i entre os tempos 1 e 2. O valor da perda é calculado pela diferença entre o total da coluna e a persistência para a classe correspondente.

Quadro 1: Matriz de transição para comparação de dois mapas em dois tempos distintos.

Chart 1: Transition matrix for comparison of two maps between two different times.

		Tempo 1				Total tempo 2	Ganho
		Classe 1 (i)	Classe 2 (i + 1)	Classe 3 (i + 2)	Classe 4 (i + 3)		
Tempo 2	Classe 1 (j)	C_{11}	C_{21}	C_{31}	C_{41}	$\sum_{i=1}^n C_{1i}$	$\sum_{i=1}^n C_{1i} - C_{11}$
	Classe 2 (j + 1)	C_{12}	C_{22}	C_{32}	C_{42}	$\sum_{i=1}^n C_{2i}$	$\sum_{i=1}^n C_{2i} - C_{22}$
	Classe 3 (j + 2)	C_{13}	C_{23}	C_{33}	C_{43}	$\sum_{i=1}^n C_{3i}$	$\sum_{i=1}^n C_{3i} - C_{33}$
	Classe 4 (j + 3)	C_{14}	C_{24}	C_{34}	C_{44}	$\sum_{i=1}^n C_{4i}$	$\sum_{i=1}^n C_{4i} - C_{44}$
Total tempo 1		$\sum_{j=1}^n C_{j1}$	$\sum_{j=2}^n C_{j2}$	$\sum_{j=3}^n C_{j3}$	$\sum_{j=4}^n C_{j4}$	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} = \sum_{j=1}^n C_{ij} = C_T$	
Perda		$\sum_{j=1}^n C_{j1} - C_{11}$	$\sum_{j=1}^n C_{j2} - C_{22}$	$\sum_{j=1}^n C_{j3} - C_{33}$	$\sum_{j=1}^n C_{j4} - C_{44}$		

(modificado de Pontius et al.,2004 e Runfola & Pontius, 2013).

3 Resultados

3.1 Mudanças na cobertura e uso do solo

Os mapas da cobertura e uso do solo ao longo do período temporal (Figura 2) mostram às áreas onde os processos de transformação do uso do solo ocasionaram mudanças. Muitas das regiões representadas como Formação campestre em 1987 foram ocupadas pela expansão da Agricultura nos períodos subsequentes, sendo, 584,33 % de incremento em agricultura em 1997, 639,48 % de incremento agricultura em 2007 e

751,26 % de incremento agricultura em 2017. Contudo, ainda remanesceram áreas em menor proporção de Formação campestre distribuídas ao longo da extensão do Pampa, sendo as maiores áreas observadas nas regiões sudoeste e sudeste. Na região sudoeste está inserida a Área de Proteção Ambiental (APA) do Ibirapuitã, que abrange uma área de aproximadamente 316.882.75 ha, sendo a única área federal protegida localizada neste bioma, e que contribui para manutenção das áreas naturais.

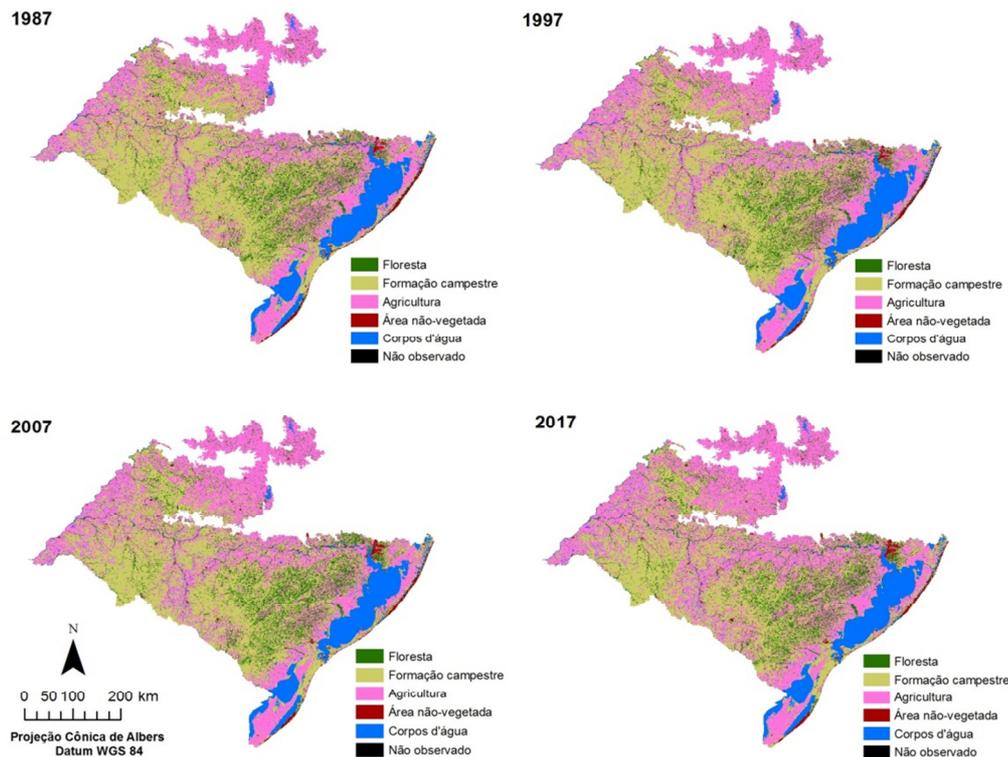


Figura 2: Mapas de uso e cobertura do solo para o bioma Pampa nos quatro pontos de tempo.

Figure 2: Maps of land use and cover for Pampa biome at four time points.

As diferenças ocorridas entre as áreas no período estudado apontam para a redução da classe Formação campestre e aumento da classe Agricultura. A redução da classe Formação campestre é bastante expressiva ao longo dos anos, com diminuição de 3,59% no primeiro período, 4% no segundo e teve um salto de 11,17% de perda no último período. Enquanto a classe Agricultura no mesmo intervalo de tempo aumentou 3,94%, depois teve uma leve queda, porém com aumento de 2,67% e por fim aumentou 12,47%. A classe Floresta aumentou na primeira e segunda década analisada, respectivamente 1,63% e 4,68%, vindo a ter uma redução de 4,48% na última década do

período do estudo. A classe Corpos d'água aumentou a área em 0,30%, 0,78% e 1,61% (Tabela 2) ao longo do intervalo do estudo. As demais, Área não-vegetada e Não observado oscilaram entre diminuição e aumento de área relativamente estáveis.

Tabela 2: Diferença de área (em hectares) entre as três décadas do estudo do bioma Pampa.

Table 2: Difference in hectares between three decades for Pampa biome.

Classes	1987 - 1997		1997 - 2007		2007 - 2017	
	Diferença	%	Diferença	%	Diferença	%
Floresta	36.651	1,63	106.657	4,68	-106.943	-4,48
Formação campestre	-294.435	-3,59	-316.598	-4,00	-849.043	-11,17
Agricultura	272.157	3,94	191.686	2,67	918.555	12,47
Área não-vegetada	-8.865	-4,82	12.599	7,19	7.932	4,22
Corpos d'água	5.332	0,30	14.088	0,78	29.135	1,61
Não observado	-10.842	-16,15	-8.433	-14,98	364	0,76

3.1.1 Incidentes e estados

A Figura 3-a mostra a localização dos Incidentes de mudanças sobre cada pixel, Figura 3-b a localização dos Estados para cada pixel e a Figura 3-c mostra a combinação entre incidentes e estados.

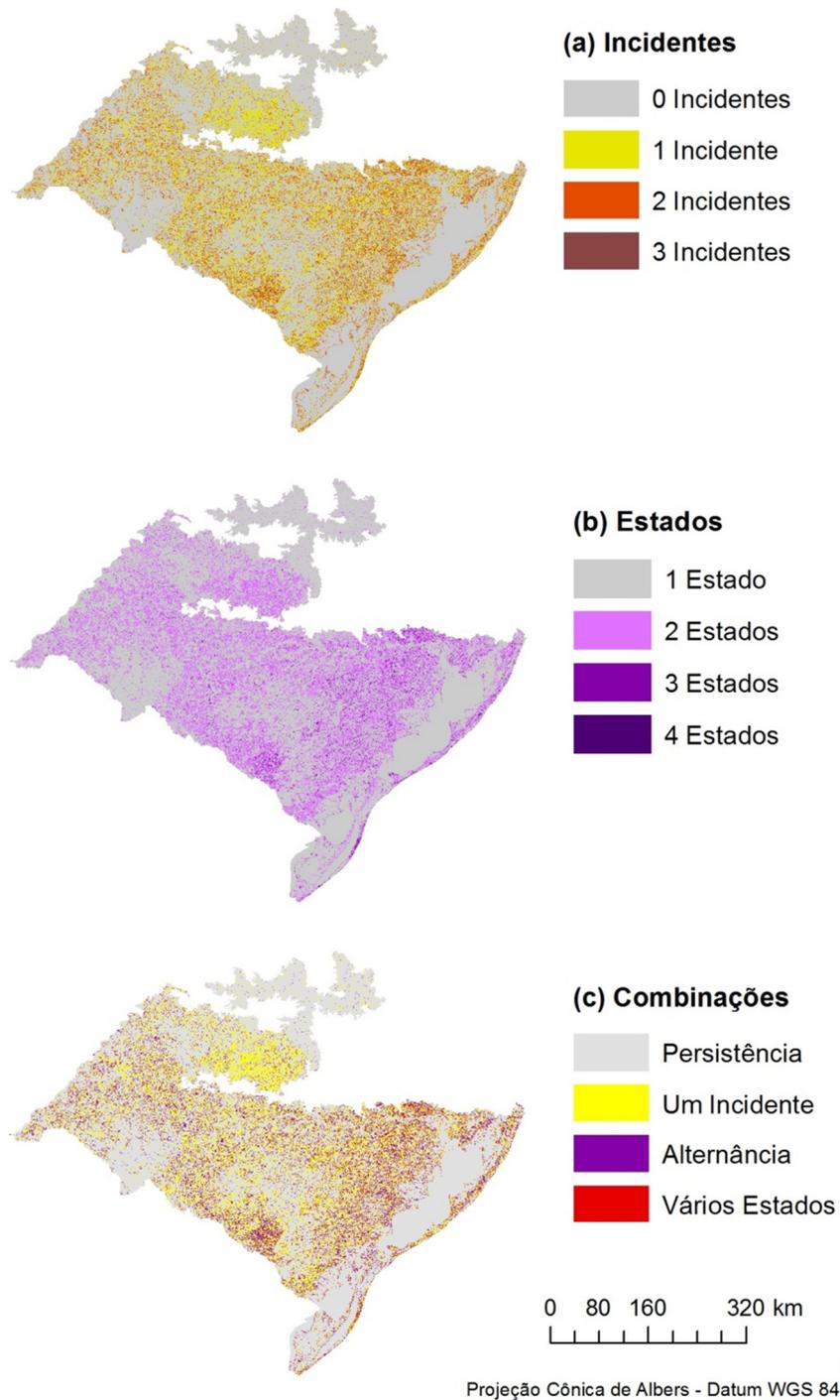


Figura 3: Mapas resumo para os quatro intervalos de tempo: (a) Incidentes, (b) Estados e (c) Combinações.

Figure 3: Summary maps for all four time intervals: (a) Incidents, (b) States and (c) Combinations.

As métricas incidentes e estados indicam que 69,02% de área persistiu como uma única classe em todos os intervalos de tempo, o que corresponde aproximadamente

13.390.064 ha, 18,64% experimentou um incidente, ou seja, ocorreu uma única alteração entre uma classe e outra, correspondendo aproximadamente 3.616.061 ha, 9,53% alternou entre duas classes, indicando uma área de aproximadamente 1.849.822 ha e 2, 81% experimentou várias classes, ou seja mudou mais de duas classes em todos os intervalos de tempo (Tabela 3), correspondendo a 544.397 ha. A mudança pode ser permanente como ocorre em classe que indica o desenvolvimento urbano típico ou pode ser temporária, quando alterna entre classes, como ocorre em cultivos ou ainda pode fazer parte de uma sequência de várias classes.

Tabela 3: Percentual de área ocupada por cada Combinação de Incidentes e Estados.
Table 3: Percentage of area occupied by each Combination of Incidents and States.

Combinações	Incidentes	Estados
	%	
Persistência	69,02	1
Um Incidente	18,64	2
Alternância	9,53	3
Vários Estados	2,81	4

Para a análise das transições entre as classes, foram considerados os dois pontos de tempo, 1987 e 2017, e também os pontos intermediários, então detectamos transições em todos os pontos de tempo. Essa técnica ajuda a diminuir a possibilidade de erros presentes nos mapas. De acordo com Pontius et al. 2017, o intervalo temporal é um fator determinante, pois tanto pode subestimar ou superestimar a mudança, como indicar erros nos mapas de uso. Os autores consideram como uma maneira de distinguir se a diferença temporal é erro ou mudança, os processos de transição entre as classes por meio de informações qualitativas. Para isso, usamos matriz de transição, que determina em quais classes as transições estão ocorrendo e, portanto, sendo modificadas. Nessa pesquisa, é provável que as transições sejam mudanças, porque muitas regiões do Pampa ocupadas por campos nativos foram suprimidas pela agricultura, e essa tem destaque para a presença de cultivos temporários, apontando as alternâncias entre duas classes sofridas de um incidente.

3.1.2 Matrizes de transição

Os resultados obtidos apontam para diminuição das áreas de campos naturais que é causada pelo aumento das áreas de agricultura. A área persistente está representada nas células na diagonal descendente, a área em hectares que cada classe perdeu entre os períodos analisados está presente nas linhas. A leitura ao longo de cada coluna revela o número de hectares que cada classe ganhou no período analisado e quais classes contribuíram para estes aumentos. A linha total mostra o total de hectares ocupados por cada classe no tempo inicial e a coluna total contabiliza o total de hectares ocupados por cada classe no tempo final.

A Tabela 4 apresenta as conversões que ocorreram entre o período de 1987 e 1997. De acordo com os dados obtidos, constata-se que a persistência das classes de cobertura e uso do solo foi de aproximadamente 16.530.153 ha. Os maiores ganhos e perdas observados estão entre as classes Agricultura, Formação campestre e Floresta. As demais classes apresentaram valores menos representativos. A Tabela 5 apresenta as conversões no período entre 1997 e 2007. A persistência das classes corresponde aproximadamente 16.308.797 ha. Nesse período os ganhos e perdas mais significativos estão entre as classes Agricultura e Formação campestre. Na tabela 6 temos as conversões entre o período de 2007 e 2017. A persistência das classes totalizou aproximadamente 16.456.981 ha, com maiores ganhos e perdas entre as classes Agricultura e Formação campestre. A tabela 7 apresenta as conversões que ocorreram no período de 30 anos, entre 1987 e 2017. Os dados obtidos mostram que a persistência das classes foi de aproximadamente 14.986.819 ha. Os maiores ganhos e perdas encontrados foram entre as classes Agricultura e Formação campestre.

Observamos que parte considerável de área das classes persistiu ao longo do período do estudo. E a diminuição e aumento de área das classes aponta para conversões contínuas, mostrando que subsiste uma oscilação de perda e ganho entre floresta, campos nativos e agricultura, com maior evidência entre a agricultura e campos nativos. As demais classes apresentaram diferenças de perdas e ganhos menos significativos.

Tabela 4: Matriz de transição mostrando as transições das classes das colunas para as classes das linhas, em hectares, em 1987 e 1997.

Table 4: Transition matrix showing the transitions from column classes to row classes, in hectares, in 1987 and 1997.

		1987 (referência)						Total	Ganho
		Classe	1	12	18	22	26		
1997 (analisado)	1	1.915.816	210.358	145.811	325	5.102	2.534	2.279.949	364.132
	12	141.508	6.840.968	898.337	13.339	8.222	15.330	7.917.706	1.076.738
	18	180.460	1.133.620	5.831.271	5.913	14.927	8.193	7.174.387	1.343.115
	22	583	8.238	10.675	147.950	650	7.076	175.174	27.223
	26	4.648	14.432	13.836	1.266	1.761.418	1.269	1.796.870	35.452
	27	279	4.523	2.297	15.243	1.216	32.728	56.289	23.561
	Total	2.243.297	8.212.141	6.902.229	184.039	1.791.537	67.132	19.400.375	
	Perda	327.480	1.371.173	1.070.958	36.088	30.119	34.403		16.530.153

Legenda: Classe 1= Floresta, Classe 12 = Formação campestre, Classe 18 = Agricultura, Classe 22 = Área não-vegetada, Classe 26 = Corpos d'água e Classe 27 = Não observado.

Legend: Classe 1= Forest, Classe 12 = Grasslands formations, Classe 18 = Agriculture, Classe 22 = Non-vegetated areas, Classe 26 = Water e Classe 27 = Non observed.

Tabela 5: Matriz de transição mostrando as transições das classes das colunas para as classes das linhas, em hectares, em 1997 e 2007.

Table 5: Transition matrix showing the transitions from column classes to row classes, in hectares, in 1997 and 2007.

		1997 (referência)						Total	Ganho
		Classe	1	12	18	22	26		
2007 (analisado)	1	1.962.201	238.043	179.030	349	5.236	1.745	2.386.606	424.405
	12	178.288	6.409.386	984.590	7.432	9.088	12.320	7.601.106	1.191.720
	18	132.155	1.240.619	5.975.903	3.185	11.028	3.181	7.366.073	1.390.170
	22	1.729	8.388	11.799	159.770	1.062	5.023	187.773	28.003
	26	5.215	15.856	19.260	515	1.768.812	1.296	1.810.955	42.143
	27	358	5.411	3.801	3.921	1.639	32.722	47.855	15.132
	Total	2.279.949	7.917.704	7.174.387	175.174	1.796.867	6.288	19.400.372	
	Perda	317.748	1.508.318	1.198.483	15.403	28.054	23.565		16.308.797

Legenda: Classe 1= Floresta, Classe 12 = Formação campestre, Classe 18 = Agricultura, Classe 22 = Área não-vegetada, Classe 26 = Corpos d'água e Classe 27 = Não observado.

Legend: Classe 1= Forest, Classe 12 = Grasslands formations, Classe 18 = Agriculture, Classe 22 = Non-vegetated areas, Classe 26 = Water e Classe 27 = Non observed.

Tabela 6: Matriz de transição mostrando as transições das classes das colunas para as classes das linhas, em hectares, em 2007 e 2017.

Table 6: Transition matrix showing the transitions from column classes to row classes, in hectares, in 2007 and 2017.

		2007 (referência)						Total	Ganho
Classe		1	12	18	22	26	27		
2017 (analisado)	1	1.966.981	210.391	95.976	659	4.905	745	2.279.660	312.678
	12	205.823	5.895.200	630.901	7.403	6.900	5.837	6.752.066	856.865
	18	205.552	1.457.464	6.605.071	4.973	8.200	3.365	8.284.628	1.679.557
	22	1.827	10.604	10.599	168.040	598	4.036	195.706	27.666
	26	5.992	20.752	21.486	770	1.789.454	1.638	1.840.093	50.639
	27	426	6.696	2.038	5.926	899	32.232	48.220	15.987
	Total	2.386.603	7.601.109	7.366.073	187.774	1.810.958	47.855	19.400.374	
Perda	419.621	1.705.908	761.002	19.733	21.504	15.623		16.456.981	

Legenda: Classe 1= Floresta, Classe 12 = Formação campestre, Classe 18 = Agricultura, Classe 22 = Área não-vegetada, Classe 26 = Corpos d'água e Classe 27 = Não observado.

Legend: Classe 1= Forest, Classe 12 = Grasslands formations, Classe 18 = Agriculture, Classe 22 = Non-vegetated areas, Classe 26 = Water e Classe 27 = Non observed.

Tabela 7: Matriz de transição mostrando as transições das classes das colunas para as classes das linhas, em hectares, em 1987 e 2017.

Table 7: Transition matrix showing the transitions from column classes to row classes, in hectares, in 1987 and 2017.

		1987 (referência)						Total	Ganho
Classe		1	12	18	22	26	27		
2017 (analisado)	1	1.766.807	313.517	185.413	2.165	6.352	5.400	2.279.658	512.850
	12	232.426	5.549.692	920.734	23.396	10.392	15.425	6.752.067	1.202.374
	18	231.932	2.290.000	5.739.625	6.577	8.744	7.747	8.284.628	2.545.002
	22	3.879	15.670	25.209	139.936	1.212	9.797	195.707	55.770
	26	7.885	38.153	27.689	1.396	1.763.481	1.486	1.840.093	76.611
	27	362	5.108	3.554	10.565	1.354	27.274	48.219	20.945
	Total	2.243.294	8.212.143	6.902.228	184.039	1.791.537	67.132	19.400.375	
Perda	476.486	2.662.450	1.162.602	44.102	28.055	39.858		14.986.819	

Legenda: Classe 1= Floresta, Classe 12 = Formação campestre, Classe 18 = Agricultura, Classe 22 = Área não-vegetada, Classe 26 = Corpos d'água e Classe 27 = Não observado.

Legend: Classe 1= Forest, Classe 12 = Grasslands formations, Classe 18 = Agriculture, Classe 22 = Non-vegetated areas, Classe 26 = Water e Classe 27 = Non observed.

4 Discussão dos resultados

Os mapas gerados neste estudo, após a reprojeção dos dados, tiveram as áreas obtidas comparadas com as áreas do MapBiomas no período de 30 anos, 1987- 2017. Em média as diferenças se mantiveram inferiores a 1% e mesmo onde essa diferença foi maior os valores se mantiveram abaixo de 3%. As menores diferenças foram encontradas na classe Floresta, Corpos d'água e Formação campestre.

O uso de matrizes de transição associado ao uso de geoprocessamento possibilitou identificar que o padrão das alterações sofridas pela vegetação campestre envolve um processo complexo e muitas vezes mais de um fator está envolvido. Contudo, este estudo identificou a agricultura como o fator determinante da maior parte das conversões durante as três décadas que abrangeu.

A expansão da agricultura, como vem sendo praticada, depende da supressão da vegetação nativa, que é substituída em monoculturas de grãos, em especial a soja e/ou silvicultura, como o eucalipto, e que vem tomando grandes proporções desde o início do século XXI (MODERNEI et al., 2016). O Pampa possui uma das pastagens naturais mais importantes do mundo (BALDI & PARUELO, 2008), que vêm sendo substituídas pela agricultura, causando impacto negativo na biodiversidade, devido à destruição de habitats (MODERNEI et al., 2016).

Há consideráveis mudanças quanto à cobertura e uso do solo no bioma Pampa, do ano de 1987 para os anos de 1997, 2007 e 2017, sendo a mais significativa as áreas ocupadas por campos nativos, substituídas pela agricultura. Comparando-se o período de 30 anos, 1987 e 2017, a agricultura teve expansão de aproximadamente 2.545.002 ha, sendo 2.290.000 ha sobre a Formação campestre, o que implica em aumento de 11,80% da classe Agricultura sobre a classe Formação campestre. Outros 231.932 ha de expansão da Agricultura foram observados sobre a Floresta, ampliando 1,20% de sua área sobre a Floresta. As classes Floresta e Formação campestre foram mais representativas em termos de perda em relação ao avanço (ganho) da Agricultura. Estes resultados dão suporte aos de Oliveira et al., 2017 que estimaram a diminuição de 26% das pastagens naturais no bioma Pampa enquanto as atividades agrícolas, em especial as culturas temporárias (soja) e florestas cultivadas (silvicultura) passaram a integrar a paisagem natural.

O avanço de culturas agrícolas está se tornando dominante nos últimos tempos, ocupando regiões onde anteriormente predominou a pecuária de modo extensivo, aliada

às pastagens naturais (MOREIRA, 2019). Para Pillar et al. (2009) o aumento das atividades de culturas anuais e silvicultura, a invasão de espécies exóticas e o uso inadequado do solo contribuem para a redução das áreas de pastagens naturais do bioma.

Nesse contexto, o aumento de área da agricultura observado nesta pesquisa, indica forte associação com o cultivo de soja que tem avançado com velocidade sobre as áreas de pastagens naturais. Segundo Silveira et al. (2017) as mudanças no uso da terra do Rio Grande do Sul, entre 1990 e 2015, provocadas pelo cultivo da soja nos dois biomas localizados no estado (Pampa e Mata Atlântica) aumentaram significativamente, principalmente após o ano de 2000, período de início na alta do preço das commodities. A expansão da soja no Pampa também ocorreu sobre áreas de várzea, que tradicionalmente eram ocupadas pelo cultivo do arroz (MENGUE et al., 2016; SANTOS et al., 2014).

Portanto, as alterações decorrentes dessa reconfiguração indicam para efeitos negativos na dimensão ambiental, seja pela substituição da pecuária tradicional de modo extensivo por uma pecuária dependente de pastagens cultivadas, ou outras práticas de culturas que venham acarretar supressão do bioma e conseqüentemente perda da biodiversidade (MOREIRA, 2019; MATTE, 2019). Para Vélez-Martin et al. (2015) a supressão dos campos gera problemas ecológicos mais graves quando a redução da área é acompanhada pela fragmentação de remanescentes na paisagem, pois quando há um número maior de manchas menores de campo, maior a superfície de contato entre as espécies campestres e os ambientes do entorno. Afirma ainda, que a conservação dos campos naturais em larga escala só é possível se a decisão for individual e voluntária de cada proprietário rural em decidir seguir com a atividade pastoril.

Por outro lado, nesse mesmo período, houve regeneração da Formação campestre em 1.202.374 ha, a maior parte, 920.734 ha verificada sobre áreas antes destinadas a Agricultura e também regenerou 232.426 ha sobre áreas que eram de Floresta. Cabe salientar que dentre as culturas agrícolas além da soja e silvicultura existe o cultivo de arroz, cujo sistema de produção alterna entre períodos de lavouras cultivadas e períodos onde as áreas permanecem em pousio. Esse pequeno tempo de pousio dado às áreas já cultivadas permite a capacidade de regeneração das áreas exploradas, determinante necessário para que ocorra sucessão secundária configurando a manutenção da vegetação, o que infere em ganho de área de campo nativo sobre a agricultura. Outros estudos apontam que a cultura do arroz pode ser a que melhor

convive com o campo nativo, pois o sistema de produção geralmente alterna entre lavouras e pecuária. O cultivo ocorre durante os meses de verão em uma área, e o restante permanece em pousio, permitindo a regeneração do campo nativo, destinada à criação de gado (HASENACK, 2017; GOMES e MAGALHÃES JR, 2004).

Considerando as particularidades desse ecossistema, é importante pensar em sustentabilidade na agricultura, visando atividades que considerem a manutenção das áreas naturais do bioma.

Adicionalmente os mapas gerados neste estudo, após a reprojeção dos dados, as áreas obtidas foram comparadas com as áreas do MapBiomas no período de 30 anos, 1987- 2017. Em média as diferenças se mantiveram inferiores a 1% e mesmo onde essa diferença foi maior os valores se mantiveram abaixo de 3%. As menores diferenças foram encontradas na classe Floresta, Corpos d'água e Formação campestre.

5 Conclusões

Embora o MapBiomas tenha uma limitação em sua série histórica, pois o seu produto foi gerado por meio de classificação automática na plataforma do GEE, podendo comprometer o mapeamento da cobertura e uso do solo, foi possível identificar e avaliar as conversões da cobertura e uso do solo no bioma Pampa. Os resultados mostram que no período de 30 anos (1987-2017) o aumento significativo da expansão da classe agricultura foi o fator principal na contribuição da redução de área dos campos nativos.

As combinações de métricas indicaram trajetórias importantes para considerar a mudança de uso do solo. A conversão de campo nativo em agricultura é frequente e vem associada a um histórico de incentivo ao cultivo de grãos, principalmente a soja.

A matriz de transição mostrou-se um método eficiente para analisar e quantificar o padrão das mudanças na cobertura e uso do solo ocorrido no bioma Pampa entre diferentes intervalos de tempo e mostrar a persistência de área de cada classe de um período para outro. A expansão da agricultura sobre os campos nativos ao longo do período do estudo aponta para a necessidade de atividades que considerem a conservação do bioma. Como a implementação de políticas públicas que visem o manejo adequado das atividades agrícolas no bioma e leis de proteção ambiental

específicas à vegetação herbácea, que irão contribuir para a manutenção das áreas de vegetação nativa do bioma Pampa.

Referências

- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M. & Sparavek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728.
- Baldi, G. & Paruelo J.M. 2008. Land-use and land cover dynamics in South American temperate grasslands. *Ecology and Society* 13(2):6.
- Boldrini, I. I., Ferreira, P.M.A., Andrade, B.O., Schneider, A.A., Setubal, R.B., Trevisan, R. & Freitas, E.M. 2010. Bioma Pampa: *diversidade florística e fisionômica*. Porto Alegre, editora Pallotti, 64 p.
- ESRI, *ArcGIS 10.2.2*. Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2014.
- Gomes, A. da S. & Magalhães Júnior, A.M. 2004. Arroz irrigado no Sul do Brasil *In*: Gomes, A.S. & Magalhães Júnior, A.M. Eds. Brasília: *Embrapa Informação Tecnológica*, 2004. 899 p.: il. Color.
- Hasenack, H., Cordeiro, J.L.P, Weber, E.J. (Org.). 2015. Uso e cobertura vegetal do Estado do Rio Grande do Sul—situação em 2002. Porto Alegre: UFRGS IB Centro de Ecologia. 1a ed. ISBN 978-85-63843-15-9
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2019. *Mapa de Biomas e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil - 1:250 000*. Rio de Janeiro: IBGE. Acessível em www.ibge.gov.br.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2019. *Série Relatórios Metodológicos*. Rio de Janeiro: IBGE. Acessível em www.ibge.gov.br.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2004. *Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação*. Rio de Janeiro: IBGE. Acessível em www.ibge.gov.br.
- INMET. *Normais climatológicas (1961-1990)*. Brasília: INMET, 1992. 84 p.
- Köppen, W. *Climatología*. México, DF : Fondo de Cultura Económica, 1948. 71 p.
- Kumar, K.S., Valasala, N.V.A.S.S., Subrahmanyam, J.V., Mallampati, M., Shaik, K. & Ekkirala, P. 2015. Prediction of future land use land cover changes of Vijayawada city using remote sensing and GIS. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)*, 2, n. 3, 91-97.

- Kuplich, T.M., Moreira, A. & Fontana, D.C. 2013. Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10 n. 17, p. 1116-1123.
- Lambin, E.F. et al. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11, 261–269. 2001.
- MAPBIOMAS, 2020. <http://mapbiomas.org/>> Acesso em: 20. maio. 2020.
- Matte, A. 2019. Mudanças produtivas no Pampa brasileiro: impactos, vulnerabilidade e estratégias de reação. In: Suzuki, J.C., Laurent, F., Araújo, V.B. (Org.). *Transições produtivas, agroecológicas e culturais no campo brasileiro*. 1ed. São Paulo: FFLCH/USP, p. 93-123.
- Mengue, V.P. & Fontana, D.C. 2016. Identification of suitable areas for irrigated rice cropping using MODIS images and HAND model. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v. 36, n. 2, p. 329-341, abr.
- Modernel, P., Rossing, W.A.H., Corbeels, M., Dogliotti, S., Picasso, V. & Tittone P. 2016. Land use change and ecosystem service provision in Pampas and Campos grasslands of Southern South America. *Environmental Research Letters* 11:113002.
- Moreira, J.G. 2019. *Transformações produtivas no Pampa brasileiro: As mudanças na bovinocultura de corte diante do avanço da soja*. 111 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Overbeck, G.E., Muller, S.C., Fidelis, A., Pfadenhauer, J., Pillar, V.D., Blanco, C.C., Boldrini, I., Both, R. & Forneck, E.D. 2007. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. v. 9, p. 101-116.
- Pillar, V.P. & Lange, O. 2015. *Os campos do sul. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos - UFRGS*, 192 p.
- Pillar, V.P., Müller, S.C., Castilhos, Z.M.S. & Jacques, A.V.A. 2009. (eds.). *Campos Sulinos, conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília: MMA, 403 p.
- Pontius Jr., R.G., Shusas, E. & McEachern, M. 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101(203), 251-268.

- Pontius, Jr. R.G., Rithivasan, R., Sauls, L. Yany Y. & Zhang, Y. 2017. Methods to summarize change among land categories across time intervals, *Journal of Land Use Science*, 12:4, 218-230, DOI:10.1080/1747423X.2017.1338768
- Runfola, D.S.M. & Pontius, Jr. R.G. 2013. Measuring the temporal instability of land change using the Flow matrix. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(9), 1696–1716. doi:10.1080/13658816.2013.792344
- Santos, J.S., Fontana, D.C., Silva, T.S.F., Rudorff, F.T. 2014. Identificação da dinâmica espaço-temporal para estimar área cultivada de soja a partir de imagens MODIS no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 1, p. 54-63.
- Silveira, V.C.P., González, J.A. & Fonseca, E.L. 2017. Land use changes after the period commodities rising price in the Rio Grande do Sul State, Brazil. *Ciência Rural*, Santa Maria. V. 47.
- Suttie, J. M., Reynolds, S. G. & Batello, C. Grasslands of the World. FAO Eds. 2005.
- Oliveira, T.E. et al. 2017. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. *Land Use Policy*, Guildford, v. 63, p. 394-400.
- Vélez-Martins, E. et al. 2015. Conversão e fragmentação. *In: 1a (Org.). V.D. Pillar & O. Lange. Os campos do sul. Porto Alegre: Rede de campos Sulinos - UFRGS*, p. 123-129.
- Weber, E.J., Hoffmann, G.S., Oliveira, C.V. & Hasenack, H. (Org.). 2016. Uso e cobertura vegetal do Estado do Rio Grande do Sul—situação em 2009. Porto Alegre: UFRGS IB Centro de Ecologia. 1aed. ISBN978-85-63843-20-3

Cap. I: Artigo 2: ALTERAÇÕES NA COBERTURA E USO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE DOM PEDRITO, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

LAND USE AND LAND COVER CHANGES IN DOM PEDRITO MUNICIPALITY, RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL.

Carmen V. de Oliveira¹ e Tatiana Mora Kuplich²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre-RS, Brasil. nemracvo@gmail.com.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1636-0900>

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Santa Maria-RS, Brasil. tatiana.kuplich@inpe.br.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0657-4024>

Resumo: No município de Dom Pedrito os campos nativos vêm sendo substituídos pela agricultura devido à valorização e lucratividade do cultivo de grãos. O objetivo principal deste trabalho é mostrar as mudanças percebidas e quais os principais processos de transformações das paisagens naturais do município no período de 1987 para 2017. Foi utilizada matriz de transição e as métricas incidentes e estados propostas por Pontius et al. 2017, através da plataforma Google Earth Engine (GEE). Foram verificadas na região oeste do município as maiores mudanças. A expansão da agricultura sobre os campos nativos foi de 81.441 hectares no período do estudo. Os valores obtidos com as métricas incidentes e estados apontam que 72,18% da área persistiu como única classe, enquanto 27,82% alterou entre uma classe e outra. No geral, nossos dados revelaram mudança notável de áreas de campos naturais que estão sendo substituídas por agricultura, sendo esta o principal processo de transformação do cenário de campos naturais no município de Dom Pedrito.

Palavras-chave. Matriz de transição, Alterações, campos nativos, agricultura.

Abstract: The native grasslands have been replaced by agriculture due to the valorization and profitability of grain cultivation in the municipality of Dom Pedrito. This work aimed to detect/measure changes and report the main processes of transformation of the municipality's natural landscapes from 1987 to 2017. In order to ascertain the changes we explore the spatial data using transition matrix, incidence and state metrics proposed by Pontius et al. 2017 in the Google Earth Engine (GEE) platform. The biggest changes were seen in the western region. Agriculture expansion over native grasslands reached 81,441 hectares in the study period. Most of the area 72.18% remained as a single class, while 27.82% changed to one class and another. Overall, our data revealed a remarkable change of areas of natural grassland are being replaced by crops in Dom Pedrito as the main process transforming the natural grassland scenario in Dom Pedrito municipality.

Keywords. Transition matrix, changes, native fields, agriculture.

1 INTRODUÇÃO

As atividades humanas provocam a intensificação e diversificação de usos do solo que geram mudanças rápidas nas paisagens, resultando, muitas vezes, em problemas ao meio ambiente (ALMEIDA et al., 2017). O uso do solo inadequado pode provocar degradação dos recursos naturais, ocasionando diversos danos que, em alguns casos, são irreversíveis, ocasionando queda tanto na produtividade agropecuária quanto na qualidade do meio ambiente enquanto sistema dinâmico (GOMES, 2005).

O padrão de cobertura e uso do solo de uma determinada região está relacionado às atividades socioeconômicas mediadas por políticas e mercados locais e nacionais, que se tornam os principais determinantes de tais mudanças (KUMAR et al., 2015). Em consequência, algumas regiões são sujeitas a transformações rápidas e persistentes, como o caso do bioma Pampa, aonde a extensão da fronteira agrícola vem ocasionando a subtração em larga escala das regiões de campos nativos (KUMAR et al., 2015).

Com isso, o Pampa, tradicionalmente reconhecido por suas extensões de campos nativos e pela pecuária extensiva, tem perdido porções cobertas por vegetação campestre para as monoculturas, especialmente a soja, o que vem mudando as paisagens naturais. Essas alterações foram detalhadas no estudo do MapBiomas (2019), que mostrou no período dos primeiros 17 anos do século XXI uma redução de 1 milhão de hectares dos campos naturais do Pampa, possivelmente pela substituição de áreas antes destinadas exclusivamente à atividade pecuária por lavouras de soja.

A pecuária extensiva aliada aos campos nativos torna-se um exemplo de atividade economicamente viável e sustentável com relação à conservação da diversidade biológica, quando comparada à agricultura (LIMA et al., 2015; LITRE, 2010). No entanto, o uso intensivo do solo para a agricultura de grãos e silvicultura vem alterando esse processo dinâmico e contribuindo para a redução das áreas de pastagens naturais, representando um risco à diversidade biológica da região.

Dentre as técnicas para detecção espacial e temporal de processos de mudanças na cobertura da terra estão as matrizes de transição sobre dados de mapas feitos com suporte de imagens de sensoriamento remoto. Estas matrizes são capazes de indicar os ganhos e perdas de área nas diferentes coberturas/usos da terra em diferentes períodos temporais, tornando-as indicadas para estudos deste tipo no Pampa gaúcho. Para analisar o potencial da utilização destas matrizes para a compreensão da dinâmica presente no Pampa gaúcho, tradicional local de pecuária extensiva, selecionou-se o município de Dom Pedrito, na Campanha riograndense.

No município de Dom Pedrito situado na microrregião da campanha meridional do RS, os campos nativos vêm sendo substituídos pelas lavouras de soja e silvicultura (MOREIRA, 2019; MATTE, 2019; MORALES GROSSKOPF et al., 2011, KUPLICH et al. 2018). Essas transformações afetam os pecuaristas e principalmente os campos nativos. Algumas dessas mudanças podem ser observadas na pesquisa de Matte (2013), que evidencia a vulnerabilidade da prática pecuarista devido à expansão da agricultura que reduz as áreas naturais dos campos.

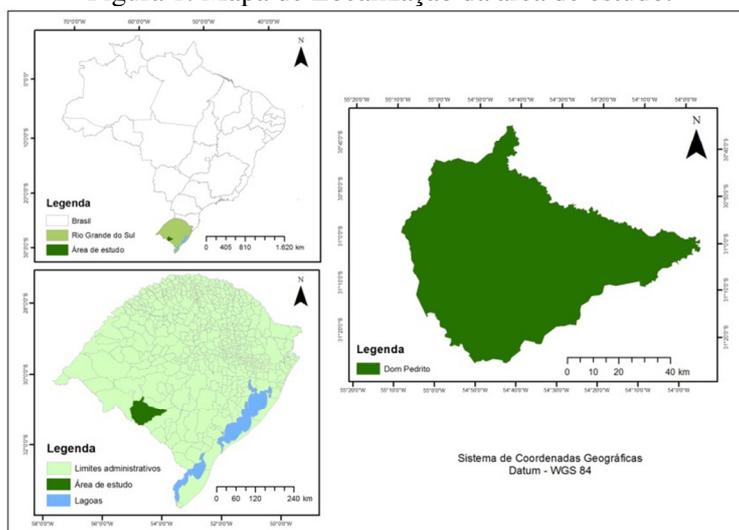
A velocidade da intensificação agrícola principalmente a soja, assim como o pinus e o eucalipto, pode gerar mudanças nos ecossistemas pré-existentes, comprometendo a sustentabilidade da região. Diante do contexto da expansão das atividades agrícolas no município de Dom Pedrito, o objetivo deste estudo consiste em mostrar as mudanças percebidas e quais os principais processos de transformações das paisagens naturais no período de 1987 para 2017.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende o município de Dom Pedrito, localizado dentro da microrregião da campanha meridional do estado do Rio Grande do Sul, cujas coordenadas extremas situam-se entre a latitude 30° 58' 54" S e a longitude 54° 40' 39" W (Figura 1). O município possui uma área de aproximadamente 5.192 km² (IBGE, 2020).

Figura 1: Mapa de Localização da área de estudo.



Fonte: Os autores (2020)

O clima é subtropical pouco úmido com inverno frio e verões frescos e a temperatura média anual entre 17-20°C. A precipitação anual varia entre 1200-1500 mm (ROSSATO, 2011). A região é formada por campos, cuja vegetação predominante por gramíneas e leguminosas (BOLDRINI, 2009). A atividade economia está baseada principalmente na agropecuária.

2.2 Material utilizado

Para quantificar e analisar as mudanças ocorridas na área de estudo e identificar o avanço ou intensificação da agricultura sobre os campos nativos foram usados os mapas de cobertura e uso da terra, correspondentes aos anos de 1987 e 2017 da coleção 4.1, disponíveis na plataforma do projeto MapBiomas.

O processamento e análise dos dados foram desenvolvidos pelo *Code Editor* do GEE a partir de *Scripts* definidos pelo MapBiomas e pré-definido. Também foi utilizado o software ArcGis 10.2TM (ESRI, 2014), para análises de área de cada uma das classes presentes na área do estudo.

2.3 Metodologia

As 27 classes originais do MapBiomas foram agregadas em seis classes (Tabela 1). A agregação se deu por estrutura e função o que coincidiu com o grau de mudança.

Tabela 1: Agregação das classes de interesse de cobertura e uso do solo.

Classes	ID
Floresta	1
Formação campestre	12
Agricultura	18
Área não-vegetada	22
Corpos d'água	26
Não observado	27

Fonte: (adaptado MapBiomas, 2019).

A seguir descreve-se as seis classes de uso e cobertura do solo conforme a classificação do MapBiomas.

1. Floresta: é constituída por tipos de vegetação com predominância de espécies de árvores com dossel contínuo.

2. Formação campestre: correspondem ao tipo de vegetação com predominância herbácea (campos nativos).

3. Agricultura: representada por áreas de cultivos onde não é possível distinguir entre pastagem e agricultura e as florestas cultivadas, como *Pinus* sp., *Eucalyptus* sp. e *Acacia* sp.

4. Área não-vegetada: representada por superfície naturalmente não vegetada, como afloramentos rochosos, praias marítimas e fluviais, dunas de areia, mineração a céu aberto e assentamentos humanos desde pequenas fazendas a infraestrutura de ambiente construído e densidade populacional média / alta.

5. Corpos d'água: envolvem todos os tipos de massas de água interiores, como rios, córregos, lagos, lagoas, reservatórios de água e lagoas artificiais.

6. Não observado: é representada por outras áreas de formação natural não florestal e outra área não vegetada.

Os dados foram reprojatados, criando-se uma projeção própria, através da ferramenta “*projections and transformations*” do software ArcGis 10.2TM (ESRI, 2014). Assim, optou-se por transformar para a projeção Cônica Equivalente de Albers mantendo o sistema geodésico de referência datum WGS84. Esse procedimento se fez necessário, pois os dados originais do MapBiomass são confeccionados seguindo a representação padrão do GEE (Lat/long e WGS 84), é portanto, é preciso fazer uma reprojeção equivalente para realizar os cálculos de área de modo a evitar ao máximo as distorções possíveis.

Os mapas gerados serviram de base para construir os mapas das métricas incidentes e estados. Para isso, foi utilizado o método proposto por Pontius et al. (2017), desenvolvido através da ferramenta *Code Editor* do GEE. Incidentes referem-se ao número de mudanças de classe que ocorreu a um pixel em um dado espaço de tempo e estados referem-se ao número de classes que o pixel representou em um dado espaço de tempo. A combinação das métricas de incidentes e estados revela se a mudança ocorrida foi permanente ou temporária. Incidentes = 0 implica em estados = 1, significa que um pixel persistiu como uma única classe em todos os intervalos de tempo, determina-se como persistência. Incidentes = 1 implica em estados = 2, significa que um pixel sofreu uma única alteração, denomina-se um incidente. Incidentes > 1 e estados = 2 significa que um pixel alternou entre duas categorias, determina-se como alternância. Incidentes > 1 e estados > 2 significa que um pixel experimentou mais de duas categorias,

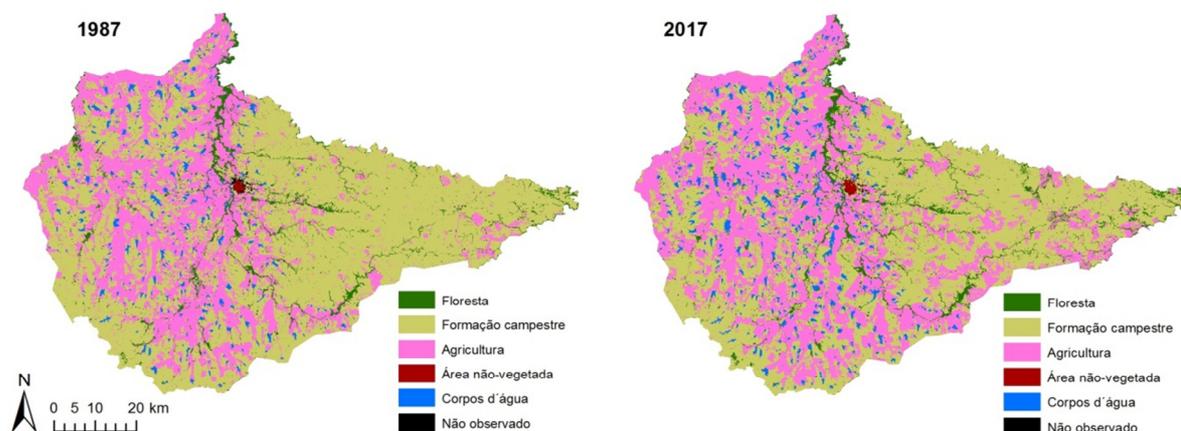
indicando vários estados. No presente estudo, o número de incidentes variou de 0 a 1 e o número de estados de 1 a 2, resultado em duas combinações de incidentes e estados.

Para a quantificação e análise das alterações do uso e cobertura do solo no período de 30 anos, foi efetuada a matriz de transição entre o mapa de 1987 e 2017. Através do *tabulate area* - software ArcGis 10.2TM (ESRI, 2014), os dados foram cruzados e exportados no formato de texto e inseridos no Excel, foi então elaborada a matriz de transição e analisadas e quantificadas as alterações ocorridas. O método utilizado baseia-se em Pontius et al. (2004) e Runfola e Pontius (2013), que permite a identificação, por exemplo, se ocorreu avanço da agricultura sobre as áreas de campos nativos além de apresenta os ganhos e perdas de cada classe.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos mapas de cobertura e uso do solo do ano de 1987 e 2017 (Figura 2), é possível identificar as áreas onde ocorreram as principais mudanças devido aos processos de transformação do uso do solo. Na região oeste o uso agrícola se mostrou mais intenso nos dois períodos. Cabe ressaltar que o cultivo do arroz se estende ao longo da extensão de várzeas do rio Santa Maria, e entre as culturas anuais, talvez seja a que se adapte melhor com o campo nativo. Contudo, a baixa valorização a alta de preços do mercado internacional, estimulou muitos produtores a optar pela substituição pela cultura da soja, o que pode ter contribuído para o aumento do uso agrícola nessa região (OLIVEIRA, et al., 2017). Por outro lado, a região leste as áreas de campos são mais evidentes, embora seja possível observar que houve um avanço de áreas agrícolas sobre os campos em 2017.

Figura 2: Mapas de uso e cobertura do solo para Dom Pedrito nos dois pontos de tempo.



Fonte: Os autores (2020)

A Tabela 2 compara as áreas de cada classe entre os anos de 1987 e 2017, revelando o aumento de 22,36% da classe Agricultura e 11,24% da classe Floresta, enquanto ocorreu redução de 14,91% da classe Formação campestre. A diminuição da classe Formação campestre é bastante expressiva, de 316.868 ha para 269.614 ha da sua área nesses 30 anos. Observa-se aumento da área da Agricultura de 165.504 ha para 202.511 ha.

Tabela 2: Comparação das áreas (em hectares) entre 1987 e 2017, para Dom Pedrito.

Classes	1987	2017	Diferença	Diferença (%)
Floresta	22.646	25.191	2.544	11,24
Formação campestre	316.868	269.614	- 47.254	-14,91
Agricultura	165.504	202.511	37.007	22,36
Área não-vegetada	472	802	330	70,01
Corpos d'água	11.740	19.476	7.735	65,89
Não observado	1.408	1.044	- 363	-25,83
Total	518.638	518.638		

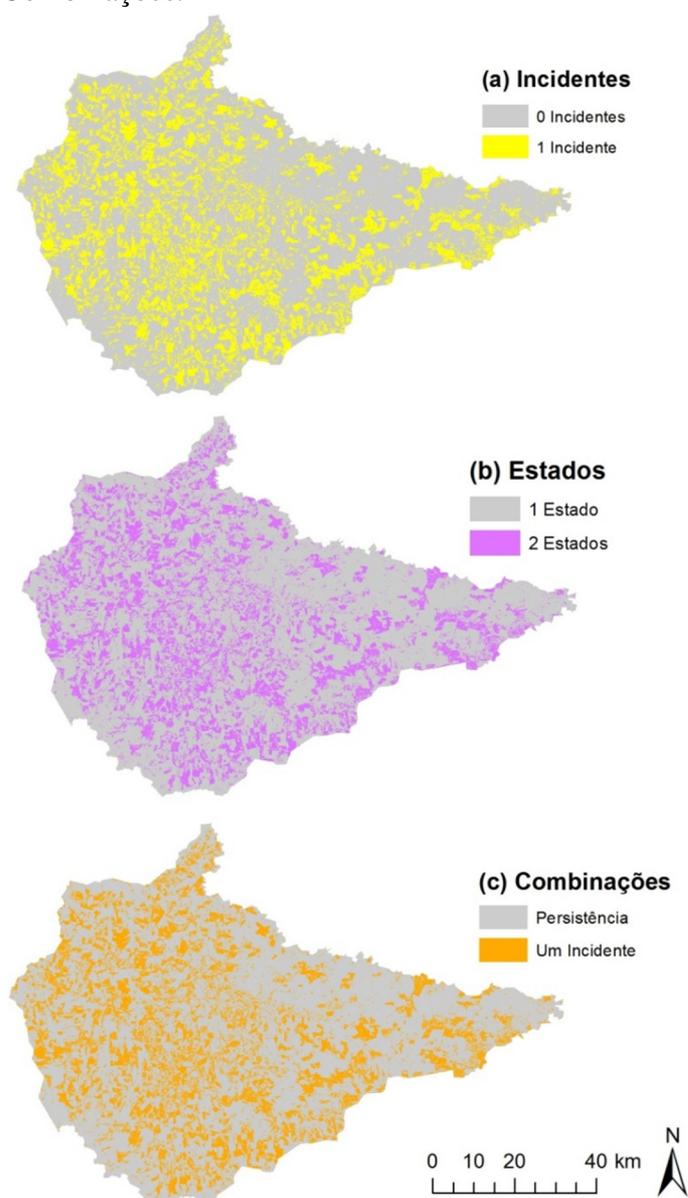
Fonte: Os autores (2020)

A comparação das áreas de cada classe de cobertura e uso do solo no período estudado mostra o predomínio das áreas de Agricultura, Formação campestre e Floresta. Contudo, as transformações evidentes sobre os campos nativos da região tem relação direta com a expansão da agricultura, que está vinculada ao cultivo da soja. De acordo com Oliveira e Vidal (2010) desde 1900 o cultivo desse grão está implantado com

significativos índices de produtividade, porém foi no início do século XXI que a soja impulsionou mudanças significativas no uso do solo no município de Dom Pedrito. À medida que a soja se expande pelo município, o número de hectares ocupados com campos nativos, geralmente destinados à atividade pecuária, reduz com a mesma velocidade.

A Figura 3-a mostra a localização dos Incidentes de cada pixel, Figura 3-b a localização dos Estados para cada pixel e a Figura 3-c mostra a combinação entre incidentes e estados.

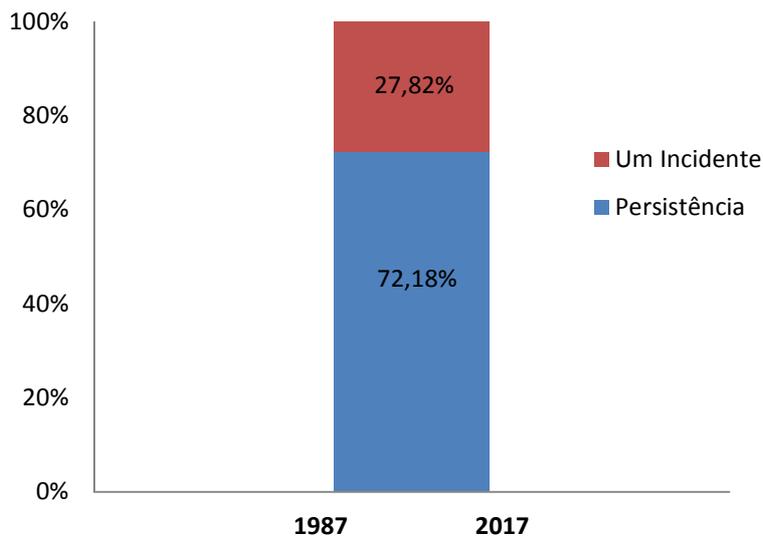
Figura 3: Mapas resumo para dois intervalos de tempo: (a) Incidentes, (b) Estados e (c) Combinações.



Fonte: Os autores (2020)

A Figura 4 mostra a percentagem da extensão espacial ocupada por cada combinação de incidentes e estados. Observa-se que 72,18% da área do município persistiu como uma única classe, enquanto 27,82% experimentou exatamente um incidente, ou seja, ocorreu uma única alteração entre uma classe e outra.

Figura 4: Percentual de área ocupada por cada Combinação de Incidentes e Estados.



Fonte: Os autores (2020)

Considerando o intervalo do estudo como sendo resultado de apenas dois pontos no tempo, ou seja, entre 1987 e 2017, atribui-se que a mudança permanente, ou seja, a persistência, indica o típico desenvolvimento urbano, contudo, também podemos atribuir as áreas de Formação campestre. Embora tenha ocorrido uma redução da área, dos campos nativos que ocupava 61,10% em 1987, passou a ocupar 51,98% do território do município em 2017 (Tabela 3). Quando acontece a mudança entre classes, significa o típico comportamento que ocorre em cultivos. Podemos destacar que a atividade agrícola que ocupava 31,91% passou a ocupar 39,05% da área do município em 2017 (Tabela 3), confirmando a ocorrência de alteração entre uma classe e outra. Esses resultados mostram que o aumento das áreas de Agricultura se deu sobre as áreas de Formação campestre.

Tabela 3: Percentagem de área em hectares, em 1987 e 2017, para Dom Pedrito.

Classes	1987	2017
	(%)	(%)
Floresta	4,37	4,86
Formação campestre	61,10	51,98
Agricultura	31,91	39,05
Área não-vegetada	0,09	0,15
Corpos d'água	2,26	3,76
Não observado	0,27	0,20

Fonte: Os autores (2020)

Cabe ressaltar que as transições entre classes, expressas pelas métricas incidentes e estados, podem ter sido subestimadas no grande intervalo de tempo considerado. Também existe a possibilidade, apesar de reduzida, de alguns destes incidentes mapeados terem sido resultado de erros na classificação de cobertura/uso da terra nos mapas do MapBiomas. Pontius et al. 2017 alertou para a importância na escolha do intervalo temporal nas análises de dinâmica de cobertura/uso do solo. Tanto o intervalo de tempo pode subestimar o real valor de incidentes e estados (incidentes que ocorrem em tempos menores que os intervalos considerados) como estas métricas podem indicar erros nos mapas de onde vieram os dados.

A Tabela 4 apresenta as alterações, em hectares, que ocorreram entre as diferentes classes de cobertura e uso do solo registradas entre 1987 e 2017. As colunas correspondem às classes no ano de 1987 e as linhas em 2017. Os valores na diagonal descendente, destacados na cor verde, representam os hectares de persistência, enquanto os demais valores indicam os hectares de mudança de uma classe para outra. A coluna “ganho” indica o número de hectares que cada classe ganhou de 1987 para 2017 e a linha “perda” mostra o número de hectares que cada classe perdeu nesse período. Já a coluna “total” contabiliza o total de hectares das classes em 2017 e a linha “total” contabiliza o total de hectares das classes em 1987.

Tabela 4: Matriz de transição mostrando as transições das classes das colunas para as classes das linhas, em hectares, em 1987 e 2017. Classe 1= Floresta, Classe 12 = Formação campestre, Classe 18 = Agricultura, Classe 22 = Área não-vegetada, Classe 26 = Corpos d'água e Classe 27 = Não observado.

		1987 (referência)						Total	Ganho
		Classe	1	12	18	22	26		
2017 (analisado)	1	16.891	4.881	2.979	0,09	429	11	25.191	8.300
	12	2.810	226.876	39.662	1	239	25	269.614	42.737
	18	2.277	81.441	118.438	6	287	62	202.511	84.073
	22	3	45	13	464	0	278	802	338
	26	664	3.607	4.391	0	10.779	35	19.476	8.697
	27	1	18	21	1	6	997	1.044	47
	Total	22.646	316.868	165.504	472	11.740	1.408	518.638	Persistência
	Perda	5.755	89.992	47.066	8	961	411		374.445

Fonte: Os autores (2020)

Quando consideramos o total de persistência das classes temos 374.445 ha. As classes Formação campestre e Agricultura apresentaram maiores áreas de persistência, 226.876 ha e 118.438 ha, respectivamente. Quanto aos ganhos a classe Agricultura teve o maior ganho de área 84.073 ha enquanto a Classe Formação campestre ganhou 42.737 ha e Floresta 8.300 ha. Por outro lado, a classe Formação campestre teve a maior área de perda 89.992 ha enquanto a Agricultura perdeu 47.066 ha e Floresta 5.755 ha.

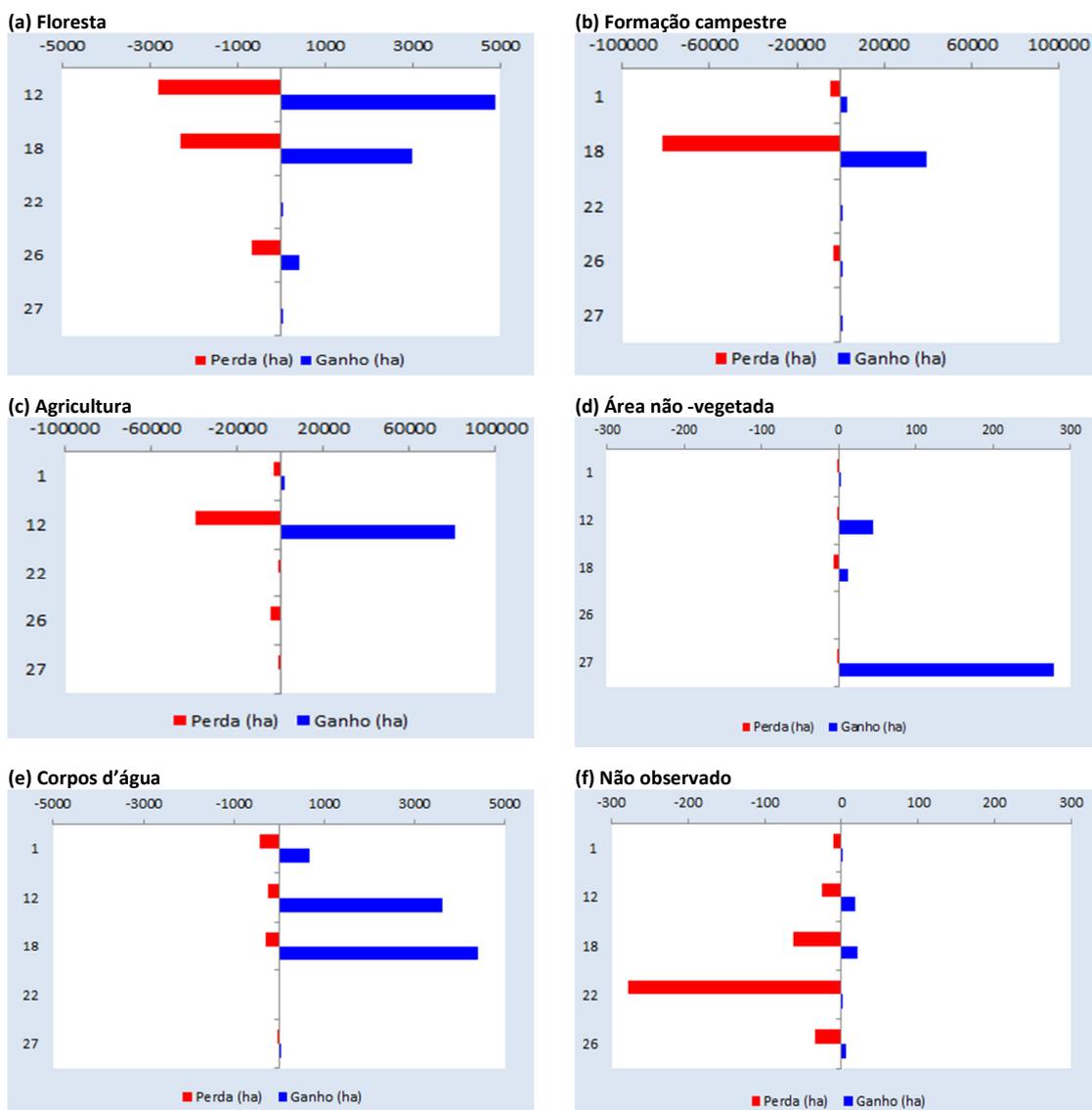
Os resultados apontam que as maiores transições, como eram esperadas, ocorreram entre as classes Formação campestre e Agricultura. Embora o nosso intervalo possa ser considerado grande, de 1987 para 2017, e assim atribuir à detecção de apenas uma parcela da quantidade de mudança revelada, sabemos que a expansão da agricultura na região está em constante ascensão. Segundo Capoane e Kuplich (2018) a área de agricultura na região da campanha, incluindo o município desse estudo, entre 1988 e 2016, aumentou muito, com destaque a produção da soja que quase triplicou sua área no período de 2000 a 2015. Alves e Bezzi (2013) também comentam o aumento da inserção de culturas como o arroz e a soja entre os anos de 2001 e 2011, consideraram um fator determinante para reduzir a prática da pecuária extensiva que antes era marcada na região. Para os autores o aumento da soja tem ligação direta com a valorização e a maior lucratividade.

Quando consideramos as perdas e ganhos de cada classe entre 1987 e 2017, as maiores transições são de Formação campestre para Agricultura (Figura 5). Observa-se as perdas de área ocupada mais significativas ocorreram nas classes Floresta, Formação campestre e Agricultura bem como os maiores ganhos obteve-se entre essas classes,

mostrando que subsiste uma oscilação de perda e ganho de área entre elas. A classe Floresta perdeu 2.810 ha da sua área para classe Formação campestre e 2.276 ha para a classe Agricultura e teve ganho de 4.881 ha da classe Formação campestre e 2.978 ha da classe Agricultura (Figura 5-a). A classe Formação campestre como já esperado, teve redução de 81.441 ha da área para a classe Agricultura, 4.881 ha para a classe Floresta e 3.606 ha para Corpos d'água. O ganho de área foi de 39.662 ha da classe Agricultura, 2.810 da classe Floresta e 238 ha de Corpos d'água (Figura 5-b). Já a classe Agricultura teve perda de 39.662 ha de área para Formação campestre, 2.978 ha de área para classe Floresta e 4.391 ha para Corpos d'água. Contudo o ganho foi de 81.441 ha da classe Formação campestre, 2.276 ha da classe Floresta e 287 ha de Corpos d'água (Figura 5-c). As demais classes apresentaram diferenças de perdas e ganhos menos significativos (Figura 5-d, e, f).

Nota-se que as perdas e ganhos de uma classe para outra são relativamente equivalentes, isso indica que uma determinada classe de cobertura e uso do solo que perdeu espaço num local foi compensada por um ganho equivalente desta mesma classe noutro local. Esse valor é bem evidente especialmente nas classes Formação campestre, Agricultura e Floresta. Isso significa que o aumento da Agricultura resulta das perdas de outras classes, sendo que a classe Formação campestre é a que mais contribui para esse aumento. Cabe salientar que no avanço da agricultura, cultivos de arroz e soja tiveram destaque em aumento de área nesse período. Conforme os dados da Produção Agrícola Municipal (PAM) a área plantada em 1987 de arroz era de 26.000 ha, vindo a praticamente duplicar a área para 46.873 ha em 2017. Esse aumento é ainda maior no cultivo da soja, que em 1987 a área plantada era de 8.500 ha, passando para 80.383 ha em 2017 (PAM/IBGE, 2020).

Figura 5: Ganho e perda de área em hectares, entre 1987 e 2017, para Dom Pedrito. Classe 1= Floresta, Classe 12 = Formação campestre, Classe 18 = Agricultura, Classe 22 = Área não-vegetada, Classe 26 = Corpos d'água e Classe 27 = Não observado.



Fonte: Os autores (2020)

A comparação dos dados dessa pesquisa com as estimativas do MapBiomas mostrou que os valores se mantiveram relativamente iguais, não havendo diferença no ano de 1987 para as classes Formação campestre e Corpos d'água e menores diferenças nas classes Floresta e Agricultura 0,03% e 0,04%, respectivamente. Já em 2017 as menores diferenças foram nas classes Formação campestre e Corpos d'água cujo valor de 0,01%. Observa-se que as diferenças de valores das classes se mantiveram inferiores a 1%, validando os resultados.

4 CONCLUSÕES

A análise da matriz de transição das classes de cobertura e uso do solo no município de Dom Pedrito, permitiu observar as alterações sofridas do ano de 1987 para 2017, sendo essas basicamente compostas pela substituição das áreas de campos nativos por áreas de agricultura. Salienta-se que a expansão dos cultivos de arroz e soja, de acordo com os dados do IBGE, nesse período, pode ser o processo mais significativo na diminuição das áreas tão importantes desse bioma. Os mapas do projeto MapBiomias permitiram identificar o padrão das alterações que vem ocorrendo no município e avaliar quais são as principais causas dessas alterações.

Através das métricas incidentes e estados é possível visualizar a trajetória da mudança que uma determinada área sofre entre um ano e outro, bem como as transições nesse intervalo.

Por fim, é nítido que as áreas naturais do município estão sendo convertidas em cultivos ano após ano, trazendo a necessidade de que haja um desenvolvimento de programas constituídos regionalmente e um melhor planejamento de políticas para que possa restringir e permitir os usos e cultivos que melhor se integram com a conservação dos campos naturais a fim de manter a produtividade e as funções ecológicas, permitindo a sustentabilidade no município.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. P.; FRAZÃO, L. A.; LEITE, M. E.; FERNANDES, L. A. Uso e ocupação do solo em áreas de assentamentos rurais no norte de Minas Gerais. *Caminhos de Geografia Uberlândia* v. 18, n. 62, p. 13-31, 2017.
- ALVES, Ana Luiza Pinto; BEZZI, Meri Lourdes. A organização espacial da Microrregião geográfica da Campanha Meridional/RS: novas cadeias produtivas na dinamização do espaço rural. **Revista Caminhos de geografia**, Uberlândia, v. 14, n. 48, p. 14 ± 26, 2013.
- BOLDRINI, I.I. A Flora dos Campos do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V.D.P. et al. **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009.p. 63-77. Disponível em <<http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Livros/CamposSulinos.pdf>> Acesso em: 02/11/2020.
- CAPOANE, Viviane; KUPLICH, Tatiana Mora. Expansão da agricultura no Bioma Pampa. In: **Anais do 8ª Reunião de Estudos Ambientais**. Porto Alegre, 2018.

Disponível em: < <https://www.researchgate.net/publication/325722472>>. Acesso em: 25/11/2018.

ESRI, *ArcGIS 10.2.2*. Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2014.

GOMES, F. das C. de L. **Mapeamento do uso da terra no município do Conde-PB, utilizando Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento**. 2005. 94 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA/ PESQUISA AGRÍCOLA MUNICIPAL – IBGE/PAM. **Informações sobre culturas temporárias**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>>. Acesso em: 19/07/2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dom Pedrito**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/dom-pedrito/panorama>>. Acesso em: 04/07/2020.

KUMAR, K.S.; VALASALA, N. V. A. S. S.; SUBRAHMANYAM, J. V.; MALLAMPATI, M.; SHAIK, K.; EKKIRALA, P. Prediction of future land use land cover changes of Vijayawada city using remote sensing and GIS. **International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)**, 2, n. 3, 91-97. 2015.

LIMA, R. de S. FERREIRA, J. A. N. FARIAS, R. de C. P. Alimentação, comida e cultura: o exercício da comensalidade.. **DEMETRA: Alimentação, Nutrição & Saúde**. 2015; 10(3); 507-522

LITRE, G. **Os gaúchos e a globalização: vulnerabilidade e adaptação da pecuária familiar no pampa do Uruguai, Argentina e Brasil**. 2010. 467 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) Universidade de Brasília, UnB, 2010.

MAPBIOMAS, 2020. <http://mapbiomas.org/>>Acesso em: 20. maio. 2020.

MATTE, A. Mudanças produtivas no Pampa brasileiro: impactos, vulnerabilidade e estratégias de reação. In: SUZUKI, J. C.; LAURENT, F.; ARAÚJO, V. B. (Org.). **Transições produtivas, agroecológicas e culturais no campo brasileiro**. 1ed.São Paulo: FFLCH/USP, 2019. p. 93-123.

MATTE, Alessandra. **Vulnerabilidade, capacitações e meios de vida dos pecuaristas de corte da Campanha Meridional e Serra do Sudeste do Rio Grande do Sul**. 2013. 174 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

- MORALES GROSSKOPF, Hermes et al. South American Livestock Farming Expansion: the long way to sustainability. In: KAMMILI, Trish; HUBERT, Bernard; TOURRAND, Jean-François. (Eds.). **A paradigm shift in livestock management: from resource sufficiency to functional integrity**. Cardère éditeur: France, 2011. p. 73-83.
- MOREIRA, Juliana G. **Transformações produtivas no Pampa brasileiro: As mudanças na bovinocultura de corte diante do avanço da soja**. 2019. 111 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.
- OLIVEIRA, A. N.; VIDAL, A. R. **Dom Pedrito: Pioneira no cultivo da soja na América Latina**. Porto Alegre: Evangraf, 2010.
- OLIVEIRA, T.E. et al. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. *Land Use Policy*, **Guildford**, v. 63, p. 394-400, 2017.
- PONTIUS Jr., R.G., SHUSAS, E. and MCEACHERN, M., Detecting important categorical land changes while accounting for persistence, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101(203), 251-268 (2004).
- PONTIUS, Jr. R. G.; RITHIVASAN, R.; SAULS, L.; ZHANG, Y. (2017) Methods to summarize change among land categories across time intervals, *Journal of Land Use Science*, 12:4, 218-230, DOI: 10.1080/1747423X.2017.1338768
- RUNFOLA, D. S. M.; & PONTIUS, Jr. R. G. (2013). Measuring the temporal instability of land change using the Flow matrix. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(9), 1696–1716. doi:10.1080/13658816.2013.792344
- ROSSATO M. S. **Os climas do rio grande do sul: variabilidade, tendência e tipologia**. 2011. 253 p. Tese (Doutorado em Geografia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.

5 CONCLUSÃO GERAL

A partir da análise do período de 30 anos (1987 - 2017) foi possível identificar e quantificar um aumento crescente ao longo dos anos das áreas agrícolas. Em contrapartida, as áreas de campos nativos reduziram seu tamanho, sendo convertidas principalmente pela agricultura.

A pesquisa no município de Dom Pedrito contribuiu para o entendimento das alterações ocorridas e para o conhecimento das atividades agrícolas com destaque aos cultivos de soja e arroz, como os principais usos do solo que contribuíram para a

substituição das áreas de campos nativos, conforme os dados do IBGE mostrados nesse estudo.

O estudo conclui que a agricultura tem forte papel nas alterações da estrutura natural da paisagem do bioma Pampa ao longo do tempo, causando modificação ambiental que afetam os ecossistemas. Desta forma, esse estudo buscou analisar as alterações ocorridas a fim de mostrar a necessidade de desenvolver melhorias no manejo dos ecossistemas, permitindo conciliar o uso do solo com as áreas naturais de maneira mais sustentável.

6. REFERÊNCIAS

ABREU, K. M. P; COUTINHO, L. M. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem. **VÉRTICES**, Campos dos Goytacazes/RJ, v.16, n.1, p. 173-198, jan./abr. 2014.

ALMEIDA, R. P.; FRAZÃO, L. A.; LEITE, M. E.; FERNANDES, L. A. Uso e ocupação do solo em áreas de assentamentos rurais no norte de Minas Gerais. *Caminhos de Geografia Uberlândia* v. 18, n. 62, p. 13-31, 2017.

ALVES, Ana Luiza Pinto; BEZZI, Meri Lourdes. A organização espacial da Microrregião geográfica da Campanha Meridional/RS: novas cadeias produtivas na dinamização do espaço rural. **Revista Caminhos de geografia**, Uberlândia, v. 14, n. 48, p. 14 ± 26, 2013.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2013.

ARCE et al. 1997. Utilização das matrizes de transição na avaliação e simulação precoces do crescimento de povoamentos de *Pinus taeda* L. *Revista Floresta* 27 (1/2): 83-98. Disponível em <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/2299>>Acesso em 28 fev. 2019.

ANDERSON, G. L.; HANSON, J. D.; HAAS, R. H. Evaluating landsat thematic mapper derived vegetation indices for estimating above-ground biomass on semiarid rangelands. **Remote Sensing of Environment**, 1993. v. 45, n. 2, p. 165–175.

ARAÚJO, G.H. de S. et al. *Gestão Ambiental de Áreas degradadas*. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2007, 320p.

ARSANJANI J.J., KAINZ W., MOUSIVAND A.J. Tracking dynamic land-use change using spatially explicit Markov Chain based on cellular automata: the case of Tehran. *International Journal of Image & Data Fusion*. 2011 Dec; 2 (4):329–45.

BALDI, G., and J. M. PARUELO. 2008. Land-use and land cover dynamics in South American temperate grasslands. *Ecology and Society* **13**(2): 6. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art6/>

BATTY, M; CHESHIRE, J. Cities as flows, cities of flows. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 38, n. 2, p. 195-196, 2011.

BOLDRINI, I. I.; FERREIRA, P. M. A.; ANDRADE, B. O.; SCHNEIDER, A. A.; SETUBAL, R. B.; TREVISAN, R; FREITAS, E.M. Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica. Porto Alegre, editora Pallotti, 2010. 64 p.

BOLDRINI, I. I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. *In*: PILLAR, V.P.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M.S; JACQUES, A.V.A. (ed). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. 403p.

BRASIL, Decreto-Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 maio 2012. Seção 1, p. 37.

CAMPOS, P. B. R.; DE QUEIROZ FILHO, A. P. 2017. Matriz de transição na detecção das mudanças do uso e ocupação do solo: estudo de caso do Centro Educacional Unificado da PAZ – zona norte de São Paulo. **Ra’e Ga** O espaço geográfico em análise, Curitiba, v 42, p. 2255-238.

CAPRA, F.A *teia da vida*: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo: Cultrix, 2006.

CAPOANE, Viviane; KUPLICH, Tatiana Mora. Expansão da agricultura no Bioma Pampa. *In*: **Anais do 8ª Reunião de Estudos Ambientais**. Porto Alegre, 2018. Disponível em: < <https://www.researchgate.net/publication/325722472>>. Acesso em: 25/11/2018.

CLAESSENS, L. et al. Modelling interactions and feedback mechanisms between land use change and landscape processes. *Agriculture, ecosystems & Ecology*, v. 129, n. 1-3, p. 157-170, jan. 2009.

CLIMATE ENGINE, 2016. Desert Research Institute, University of Idaho. <http://climateengine.org>

COLLECT EARTH, 2016. United Nations Food and Agriculture Organization. <http://www.openforis.org/tools/collectearth.html>

COLDITZ, R. R. *et al.* **Land cover classification with coarse spatial resolution data to derive continuous and discrete maps for complex regions**. *Remote Sensing of Environment*, v. 115, n. 12, p. 3264–3275, 2011.

COLTIN, B.; MCMICHAEL, S.; SMITH, T.; FONG, T. **Automatic boosted flood mapping from satellite data**. *Int. J. Remote Sens.*, 37 (5), p. 993-1015, 2016.

CORDEIRO, J. L. P.; HASENACK, H. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. **Pillar, V. D.; Müller, S. C.; Castilhos, Z. M. S.; Jacques, A. V. A. Campos Sulinos conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília - DF: Ministério do Meio Ambiente, 2009, p. 285–299.

COSTA, V. Indígenas utilizam tecnologia contra desmatamento. **Publicação da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência**. JORNAL DA CIÊNCIA, 2015. Disponível em: <http://www.jornaldaciencia.org.br/indigenas-utilizam-tecnologia-contrao-desmatamento/> Acesso em: 28/01/2019.

CUNHA, H. N. da.; NÓBREGA, M. R. R.; FIORI, D.; FILIPPINI ALBA, J. M.; MIURA, A. K.; SALDANHA, D. L. **Mapeamento de áreas de preservação permanente de topo de morro na bacia hidrográfica do Alto Camaquã, RS, nos termos da resolução CONAMA de 2002 (revogado) e do Novo Código Florestal de 2012**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015.

CRAWSHAW, D.; DALL'AGNOL, M.; CORDEIRO, J.L.P.; HASENACK, H. Caracterização dos campos sul-rio-grandenses: uma perspectiva da ecologia da paisagem. **Boletim Gaúcho de Geografia**, n.33, p.233-252, 2007.

DIMURO, G. P.; REISER, R. H.; COSTA, A. C.; SOUZA, P. L. R. Modelos de Markov e Aplicações. VI Oficina de Inteligência Artificial, Pelotas: Educat, p. 37-59, 2002.

DONG, J.; XIAO, X.; MENARGUEZ, M. A.; ZHANG, G.; QIN, Y.; THAU, D. & BIRADAR, C. 2016. Moore Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 185: 142-154.

ESRI, *ArcGIS 10.2.2*. Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2014.

FERRARI, R. **Modelagem Dinâmica do Uso e Cobertura da Terra da Quarta Colônia, RS**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FOLEY, J. A.; FRIES, De. R.; ASNER, G. P. *et al.* 2005. Global consequences of land use. *Science* 309:570-574.

GALETTO, L.; AGUILAR, R.; MUSICANTE, M.; ASTEGIANO, J.; FERRERAS, A.; JAUSORO, M.; TORRES, C.; ASHWORTH, L. and EYNARD, C. 2007. Fragmentación de hábitat, riqueza de polinizadores, polinización y reproducción de plantas nativas en el Bosque Chaqueño de Córdoba, Argentina. *Ecología Austral* 17 (1):67-80.

GAO, J. (2006) Quantification of grassland properties: how it can benefit from geoinformatic technologies? *Int J Remote Sens* 27:1351–65.

GOMES, F. das C. de L. **Mapeamento do uso da terra no município do Conde-PB, utilizando Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento**. 2005. 94 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2005.

GOMES, A. da S. & MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. 2004. Arroz irrigado no Sul do Brasil *In*: GOMES, A. S. & MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. Eds. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2004. 899 p.: il. Color.

GÓMEZ GIMÉNEZ, M. *et al.* Determination of grassland use intensity based on multi-temporal remote sensing data and ecological indicators. **Remote Sensing of Environment**, 1 set. 2017. v. 198, p. 126–139. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302638>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

GOOGLE EARTH ENGINE TEAM. **Google Earth Engine: Uma plataforma de análise geoespacial de escala planetária**. 2015. Disponível em: <https://earthengine.google.com/platform/>> Acesso em: 10 dez. 2018.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote. Sens. Environ.* **2017**, 202, 18–27.

GORELICK, Noel. Google Earth Engine. *In*: **EGU General Assembly Conference Abstracts**. 2013. p. 11997.

GRAÇA, P. M. L. A. **Monitoramento e caracterização de áreas submetidas à exploração florestal na Amazônia por técnicas de detecção de mudanças**. 2004. 275p. (INPE-13644-TDI/1046). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2004.

GRACIOLI, C. R. **Efeitos da silvicultura do eucalipto na dinâmica da vegetação em áreas de pecuária no Rio Grande do Sul, Brasil**. 2010. 145f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

HANSEN, M.C.; POTAPOV, P. V.; MOORE, R.; HANCHER, M. *et al.* (2013). **High-resolution global maps of 21st-century forest cover change**. *Science*, v.342, p. 850-853.

HASENACK, H., CORDEIRO, J. L. P, WEBER, E. J. (Org.). 2015. **Uso e cobertura vegetal do Estado do Rio Grande do Sul–situação em 2002**. Porto Alegre: UFRGS IB Centro de Ecologia. 1a ed. ISBN 978-85-63843-15-9

HESSBURG, P.F. *et al.*: Recent changes (1930s-1990s) in spatial patterns of interior northwest forest, USA, **Forest Ecology and Management**, v. 136, p 53-83, 2000.

HILL, M. J. *et al.* Estimation of pasture growth rate in the south west of Western Australia from AVHRR NDVI and climate data. **Remote Sensing of Environment**, 2004. v. 93, n. 4, p. 528–545.

HOUSMAN, I.; TANPIPAT, V.; BISWAS, T.; CLARK, A.; STEPHEN, P.; MAUS, P. & MEGOWN, K. 2015. *Monitoring forest change in southeast Asia: case studies for USAID Lowering Emissions in Asia's Forests*. Salt Lake, U.S. 16p.

HUANG, H.; CHEN, Y.; CLINTON, N.*et al.*, (2017). Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 202: 166-176.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2004. Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE. Acessível em www.ibge.gov.br.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA/ PESQUISA AGRÍCOLA MUNICIPAL – IBGE/PAM. **Informações sobre culturas temporárias**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>>. Acesso em: 19/07/2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2019. *Mapa de Biomas e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil - 1:250 000*. Rio de Janeiro: IBGE. Acessível em www.ibge.gov.br.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2019. *Série Relatórios Metodológicos*. Rio de Janeiro: IBGE. Acessível em www.ibge.gov.br.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Dom Pedrito**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov/br/brasil/rs/dom-pedrito/panorama>>. Acesso em: 04/07/2020.

INMET. *Normais climatológicas (1961-1990)*. Brasília: INMET, 1992. 84 p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ª ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009 598 p..

JIANG, Y.; CARROW, R. N. Assessment of Narrow-band Canopy Spectral Reflectance and Turfgrass Performance under Drought Stress. *Hort Science*, v. 40, n.1, p242-245, 2005.

JIN, S.; YANG, L.; DANIELSON, P.; HOMER, C.; FRY, J.; XIAN, G. A. Comprehensive change detection method for updating the National Land Cover database to circa 2011. **Remote Sensing of Environment**, v. 132, p. 159-175. 2013.

KÖPPEN, W. **Climatología**. México, DF : Fondo de Cultura Económica, 1948. 71 p.

KUMAR L.; MUTANGA O. Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential. **Remote Sens.** 2018, 10, 1509

KUMAR, K.S.; VALASALA, N. V. A. S. S.; SUBRAHMANYAM, J. V.; MALLAMPATI, M.; SHAIK, K.; EKKIRALA, P. Prediction of future land use land cover changes of Vijayawada city using remote sensing and GIS. **International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)**, 2, n. 3, 91-97. 2015.

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

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

LIMA, R. de S. FERREIRA, J. A. N. FARIAS, R. de C. P. Alimentação, comida e cultura: o exercício da comensalidade.. **DEMETRA: Alimentação, Nutrição & Saúde**. 2015; 10(3); 507-522

LIMA, E. C. **Análise espaço-temporal do uso e ocupação do solo da bacia do rio dos sins/RS**. Trabalho de Graduação, Departamento de Geografia, UFRGS. Porto Alegre, 2010.

LITRE, G. **Os gaúchos e a globalização: vulnerabilidade e adaptação da pecuária familiar no pampa do Uruguai, Argentina e Brasil**. 2010. 467 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) Universidade de Brasília, UnB, 2010.

LOBELL, D.; THAU, D.; SEIFERT, C.; ENGLE, E.; LITTLE, B. **A scalable satellite-based crop yield mapper**. *Remote Sens. Environ.*, v.164, p. 324-333, 2015.

LORENA, R. B. **Evolução do uso da terra em porção da Amazônia Ocidental (Acre), através da técnica de detecção de mudanças**. 2003. 114p. (INPE-9650-TDI/846). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2003.

LU, D.; MAUSEL, P.; BATISTELLA, M.; MORAN, E. Land-cover binary change detection methods for use in the moist tropical region of the Amazon: a comparative study. **International Journal of Remote Sensing**. v. 26, n.1, p. 101-114, 2005.

LU, D.; MORAN, E.; BATISTELLA, M. Linear mixture model applied to Amazonian vegetation classification. **Remote Sensing of Environment**, v.4, p.456-469, 2003.

MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. (eds.). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. 1. ed. Brasília, DF: MMA (Biodiversidade 19), 2 volumes, 2008.

MAPBIOMAS, 2019. <http://mapbiomas.org/>>Acesso em: 20. jan. 2019.

MAPBIOMAS, 2020. <http://mapbiomas.org/>>Acesso em: 20. maio. 2020.

MAP OF LIFE, 2016. <http://www.mol.org>>Acesso em: 04. jan. 2019.

MATTE, A. Mudanças produtivas no Pampa brasileiro: impactos, vulnerabilidade e estratégias de reação. In: SUZUKI, J. C.; LAURENT, F.; ARAÚJO, V. B. (Org.). **Transições produtivas, agroecológicas e culturais no campo brasileiro**. 1ed.São Paulo: FFLCH/USP, 2019. p. 93-123.

MATTE, Alessandra. **Vulnerabilidade, capacitações e meios de vida dos pecuaristas de corte da Campanha Meridional e Serra do Sudeste do Rio Grande do Sul**. 2013. 174 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MENGUE, V. P.; SILVA, T. S.; FONTANA, D. C.; SCOTTÁ, F. C. Detecção de mudanças espaciais relacionadas à expansão da fronteira agrícola no Bioma Pampa. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 1, p. 40-70, janeiro/março, 2018. doi: 10.14393/rbcv70n1-45189

MENGUE, V. P. & FONTANA, D. C. 2016. Identification of suitable areas for irrigated rice cropping using MODIS images and HAND model. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 36, n. 2, p. 329-341, abr.

MMA. **Bioma Pampa**. - **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/pampa>> Acesso em: 04 jan. 2019.

Ministério do Meio Ambiente. 2007. Mapa de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros. Disponível em <http://www.mma.gov.br/portabio>> Acesso em: 27 jul. 2020.

MODERNELO, P., ROSSING, W. A. H., CORBEELS, M., DOGLIOTTI, S., PICASSO, V. & TITTONELL P. 2016. Land use change and ecosystem service provision in Pampas and Campos grasslands of Southern South America. *Environmental Research Letters* 11:113002.

MORALES GROSSKOPF, Hermes et al. South American Livestock Farming Expansion: the long way to sustainability. In: KAMMILI, Trish; HUBERT, Bernard; TOURRAND, Jean-François. (Eds.). **A paradigm shift in livestock management: from resource sufficiency to functional integrity**. Cardère **éditeur**: France, 2011. p. 73-83.

MOREIRA, Juliana G. **Transformações produtivas no Pampa brasileiro: As mudanças na bovinocultura de corte diante do avanço da soja**. 2019. 111 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

MOREIRA, M. A. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 320p.

MOORE, R. T.; HANSEN, M. C. **Google Earth Engine: a new cloud-computing platform for global-scale earth observation data and analysis**. American Geophysical Union, Fall Meeting, 2011.

NEMANI, R.; VOTAVA, P.; MICHAELIS, A.; MELTON, F. & MILESI, C. 2011. Collaborative supercomputing for global change science, *EOS Transactions. American Geophysical Union*, 92: 109-110.

NÓBREGA, M. R. R. ; CUNHA, H. N. ; MIURA, A. K. ; ALBA, J. M. F. . **Estimativa de áreas degradadas no município de Manoel Viana - RS por meio da técnica do modelo linear de mistura espectral**. 2012. (Apresentação de Trabalho/Congresso). n: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA CLIMA TEMPERADO, 4., 2012, Pelotas. Ciência e inovação para 2050: qual o futuro que queremos? Resumos e palestras... Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. 1 CD-ROM.

NORDBERG M. L., EVERTSON J. (2003) Monitoring change in mountainous dry-heath vegetation at a regional scale using multitemporal landsat TM Data. *Ambio*32:502–9.

NOVO, E. M. L. de MORAES. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. – 4ªed. São Paulo: Blucher, 2010.

OC – OBSERVATORIO DO CLIMA. Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) – Mudança de Uso da Terra. **Observatório do Clima[online]**,2013.

OC – OBSERVATORIO DO CLIMA. **Análise da evolução das emissões de GEE no Brasil (1970–2013) e suas implicações para políticas públicas**. São Paulo: Observatório do Clima, 2015.

OLIVEIRA, A. N.; VIDAL, A. R. **Dom Pedrito**: Pioneira no cultivo da soja na América Latina. Porto Alegre: Evangraf, 2010.

OLIVEIRA, T.E. et al. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. *Land Use Policy*, **Guildford**, v. 63, p. 394-400, 2017.

OLIVER Y. M., ROBERTSON M. J., WONG M. T. F. (2010) Integrating farmer knowledge, precision agriculture tools, and crop simulation modeling to evaluate management options for poor-performing patches in cropping fields. *Eur J Agron* **32**:40–50.

OVERBECK, G. E. *et al.* Os Campos Sulinos: um bioma negligenciado. *In*: PILLAR, V. D.; MULLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A. (Org.). **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. 1ª ed. Brasília - DF: MMA, 2009, p. 28–40.

OVERBECK, G. E., MÜLLER, S. C., FIDELIS, A., PFADENHAUER, J., PILLAR, V. D., BLANCO, C. C., BOLDRINI, I., BOTH, R. & FORNECK, E. D. 2007. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. v. 9, p. 101-116.

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

OVERMARS, K. P.; VERBURG, P. H.; VELDKAMP, T. (A. . Comparison of a deductive and an inductive approach to specify land suitability in a spatially explicit land use model. *Land Use Policy*, v. 24, n. 3. P. 584-599, jul. 2007.

PACIFICI, F.; DEL FRATE, F.; SOLIMINI, C.; EMERY, W. J. An innovative neural-net method to detect temporal changes in high-resolution optical satellite imagery. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.45, n.9, p.2940-2952, 2007.

PAEGELOW, M.; OLMEDO, M. T. C.; TORIBIO, J. M. Cadenas de Marko, Evaluación Multicriterio y Evaluación Multiobjetivo para La Modelización Prospectiva Del Paisaje. **Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica**, n. 3, p. 22-44, 2003.

PATEL, N.; ANGIULI, E.; GAMBA, P.; *et al.* (2015). **Multitemporal settlement and population mapping from Landsat using google earth engine**. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, v.35, p. 199-208.

PEKEL, J.F.; COTTAM, A.; GORELICK, N.; BELWARD, A.S. **High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes**, *Nature Geoscience*, v. 540 (7633), p. 418-122, 2016.

PILLAR, V. P.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A. (eds.). **Campos Sulinos, conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. 403 p.

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

PONTIUS, Jr. R. G.; RITHIVASAN, R.; SAULS, L.; ZHANG, Y. (2017) Methods to summarize change among land categories across time intervals, **Journal of Land Use Science**, 12:4, 218-230, DOI: 10.1080/1747423X.2017.1338768

PONTIUS Jr., R.G., SHUSAS, E. and MCEACHERN, M., Detecting important categorical land changes while accounting for persistence, **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 101(203), 251-268 (2004).

ROSA. M. **Análise e comparação entre diferentes metodologias de mapeamento e monitoramento da cobertura florestal de Mata Atlântica**. Boletim Paulista de Geografia, v.95, p.25-34, 2016.

ROSSATO M. S. **Os climas do rio grande do sul: variabilidade, tendência e tipologia**. 2011. 253 p. Tese (Doutorado em Geografia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.

RUNFOLA, D. S. M.; & PONTIUS, Jr. R. G. (2013). Measuring the temporal instability of land change using the Flow matrix. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(9), 1696–1716. doi:10.1080/13658816.2013.792344

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

SANTOS, J. S., FONTANA, D. C., SILVA, T. S. F., RUDORFF, F. T. 2014. Identificação da dinâmica espaço-temporal para estimar área cultivada de soja a partir de imagens MODIS no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 54-63.

SCHUSTER, C. et al. Grassland habitat mapping by intra-annual time series analysis - Comparison of RapidEye and TerraSAR-X satellite data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 2015. v. 34, n. 1, p. 25-34. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2014.06.004>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

SILVEIRA, V. C. P., GONZÁLEZ, J. A. & FONSECA, E. L. 2017. Land use changes after the period commodities rising price in the Rio Grande do Sul State, Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria. V. 47.

SOARES-FILHO, B. S.; ASSUNÇÃO, R. M.; PANTUZZO, A. Modeling the spatial transition probabilities of landscape dynamics in na Amazonian colonization frontier. **Bio Science**, (51): 1039-1046, 2001.

SOULARD, C.E.; ALBANO, C.M.; VILLARREAL, M.L.; WALKER, J.J. **Continuous 1985–2012 Landsat monitoring to assess fire effects on meadows in Yosemite National Park, California**. *Remote Sens.*, v.8 (5), p. 371, 2016.

SOUZA Jr., C. M., SHIMBO, J. Z., ROSA, M. R., PARENTE, L. L., ALENCAR, A. A., RUDORFF, B. F. T., HASENACK, H., MATSUMOTO, M., FERREIRA, L. G., SOUZA-FILHO, P. W., OLIVEIRA, S. W. de, ROCHA, W. F., FONSECA, A. V. MARQUES, C. B., DINIZ, C. G., COSTA, D., MONTEIRO, D., ROSA, E. R., VÉLEZ-MARTIN, E., WEBER, E. J., LENTI, F. E. B., PATERNOST, F. F., PAREYN, F. G. C., SIQUEIRA, J. V., VIERA, J. L., FERREIRA-NETO, L. C., SARAIVA, M. M., SALES, M. H., SALGADO, M. P. G., VASCONCELOS, R., GALANO, S., MESQUITA, V. V. & AZEVEDO, T. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(17), 2735. <https://doi:10.3390/rs12172735>.

SUAREZ, A. F.; SOARES FILHO, B. S. Estudo da mudança de uso e cobertura do solo na bacia do rio formiga-MG. **Revista Brasileira de Cartografia** (2013) NO 65/3: 417-429 Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/595/571> >. Acesso em: 28 fev. 2019.

SUN, B.; LI, Z.; GAO, Z.; GUO, Z.; WANG, B.; HU, X.; BAI, L. Grassland degradation and restoration monitoring and driving forces analysis based on long time-series remote sensing data in Xilin Gol League. **Acta Ecologica Sinica**, 1 ago. 2017. v. 37, n. 4, p. 219-228. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1872203217300367> Acesso em: 04 mar. 2019.

SUTTIE, J. M., REYNOLDS, S. G. & BATELLO, C. Grasslands of the World. FAO Eds. 2005.

STURROCK, H. J. W.; COHEN, J. M.; KEIL, P.; TATEM, A. J.; LE MENACH, A.; NTSHALINTSHALLI, N. E.; HSIANG M. S.; GOSLING, R. D. (2014). **Fine-scale malaria risk mapping from routine aggregated case data.** *Malaria journal*, v.13 (1), p. 1-9.

TOIVONEN, T., LUOTO, M. (2003) Landsat TM images in mapping of seminatural grasslands and analysing of habitat pattern in an agricultural landscape in south-west Finland. *Int J Geogr* **181**:49–67.

TUCKER, C. J.; VANPRAET, C. L.; SHARMAN, M. J.; VAN ITTERSUM, G. Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the senegalese sahel: 1980-1984. **Remote Sensing of Environment**, 1985. v. 17, n. 3, p. 233–249.

TRENTIN, C. B. **Análise da resposta espectral da vegetação da área de proteção ambiental (APA) do Ibirapuitã em imagens do sensor EOS/MODIS associadas ao solo e aos elementos do clima.** 2011. 73 f., il. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Meteorologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

VÉLEZ-MARTIN, E.; ROCHA, C. H.; BLANCO, C.; AZAMBUJA, B. O.; HASENACK H.; PILLAR, V. P. Conversão e fragmentação. *In*: 1a (Org.). **V.D. Pillar & O. Lange. Os campos do sul.** Porto Alegre: Rede de campos Sulinos - UFRGS, 2015, p. 123–129.

VITTEK, M.; BRINK, A.; DONNAY, F.; SIMONETTI, D. & DESCLÉE, B. 2014. Land cover change monitoring using Landsat MSS/TM satellite image data over West Africa between 1975 and 1990. *Remote Sensing*, 6: 658-676.

WEBER, E. J., HOFFMANN, G. S., OLIVEIRA, C. V. & HASENACK, H. (Org.). 2016. Uso e cobertura vegetal do Estado do Rio Grande do Sul—situação em 2009. Porto Alegre: UFRGS IB Centro de Ecologia. 1aed. ISBN978-85-63843-20-3

WOODCOCK, C. E.; ALLEN, R.; ANDERSON, M.; BELWARD, A.; BINDSCHADLER, R.; COHEN, W.; GAO, F.; GOWARD, S. N.; HELDER, D.; HELMER, E.; NEMANI, R.; OREOPOULOS, L.; SCHOTT, J.; THENKABAIL, P. S.; VERMOTE, E. F.; VOGELMANN, J.; WULDER, M. A.; WYNNE, R. (2008). Free access to Landsat imagery. *Science*, 320: 1011.

ZHANG, Q.; LI, B.; THAU, D.; MOORE, R. **Building a better urban picture: combining day and night remote sensing imagery.** *Remote Sens.*, v.7 (9), p. 11887-11913, 2015