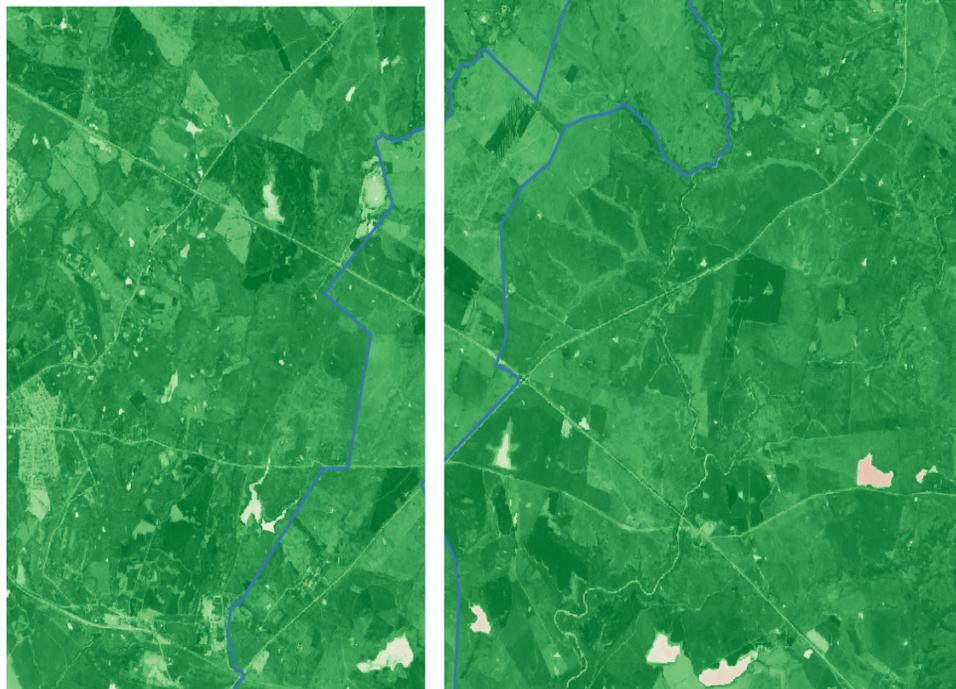


Aplicação do Índice Normalizado de Vegetação no Monitoramento de Sistema de Unidades de Manejo

2 FOME ZERO E
AGRICULTURA
SUSTENTÁVEL



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Pecuária Sul
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
47**

**Aplicação do índice normalizado
de vegetação no monitoramento de
sistema de unidades de manejo**

*José Pedro Pereira Trindade
Leandro Bochi da Silva Volk
Danilo Serra da Rocha*

Embrapa Pecuária Sul
Bagé, RS
2021

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Pecuária Sul
Embrapa Pecuária Sul
BR 153, Km 632,9. Caixa postal 242
796401-970 - Bagé - RS
Fax: 55.53.32404650
www.embrapa.br/pecuaria-sul
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Pecuária Sul

Presidente
Marcos Flávio Silva Borba

Secretário-Executivo
Gustavo Trentin

Membros
Gustavo Martins da Silva, Graciela Olivella Oliveira, Marco Antonio Karam Lucas, Ana Cristina Mazzocato, João Carlos Pinto Oliveira, Magda Vieira Benavides, Márcia Cristina Teixeira da Silveira, Lisiane Bassols Brisolara, Suplentes
Emanuelle Baldo Gaspar e Jorge Luiz Sant'Anna dos Santos,

Supervisão editorial
Lisiane Bassols Brisolara

Revisão de texto
Felipe Santos da Rosa

Normalização bibliográfica
Graciela Olivella Oliveira

Tratamento das ilustrações
Daniela Garcia Collares

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Daniela Garcia Collares

Foto da capa
José Pedro Trindade

1ª edição
Publicação digitalizada (2021)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Nome da unidade catalogadora

Trindade, José Pedro Pereira

Aplicação do índice normalizado de vegetação no monitoramento de sistema de unidades de manejo / José Pedro Pereira Trindade, Leandro Bochi da Silva Volk, Danilo Serra da Rocha. — Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2021.

PDF (31 p.).— (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Pecuária Sul, ISSN 1983-0467 ; 47)

1. Sensoriamento remoto. 2. Vegetação. 3. Terra. I. Volk, Leandro Bochi da Silva. II. Rocha, Danilo Serra da. III. Título. IV. Série.

CDD 621.3678

Sumário

Resumo	4
Abstract	6
Introdução.....	7
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	14
Conclusões.....	29
Referências	30

Aplicação do Índice Normalizado de Vegetação no Monitoramento de Sistema de Unidades de Manejo

José Pedro Pereira Trindade¹

Leandro Bochi da Silva Volk²

Danilo Serra da Rocha³

Resumo – Parte-se dos avanços científicos do Sensoriamento Remoto no estudo dos padrões de reflectância para sistemas de cobertura vegetal identificados por sensores orbitais e expressos nas relações entre o Índice Normalizado de Vegetação e o uso da terra. A demonstração da aplicação do Índice Normalizado de Vegetação proposto para o monitoramento de Sistemas de Unidades de Manejo. O estado do índice normalizado de vegetação pode estimar o índice, para definir um indicador eficiente dos impactos de sistemas de manejo e/ou do uso da terra no funcionamento de sistemas biológicos vegetais. Consideramos como sistema de estudo as Unidades de Manejo da área física da Embrapa Pecuária Sul, localizada entre os municípios de Bagé e Hulha Negra, Rio Grande do Sul. Ao todo foram descritas 176 unidades de manejo entre os meses de Janeiro de 2018 e Setembro de 2020. Foram estimadas para cada unidade o estado do índice normalizado de vegetação em cada um dos meses de referência. Para tal foram utilizadas imagens de satélite disponibilizadas pela Agência Espacial Europeia, do projeto Sentinel 2. Pode-se observar que o índice normalizado de vegetação se mostrou bastante sensível para a descrição do estado da cobertura do solo. O NDVI demonstra ser um candidato a indicador para a gestão de práticas/processos por ser sensível a alterações na cobertura vegetal de unidades de manejo. A análise da distribuição de frequência de unidades de manejo em classes de NDVI demonstrou potencial uso no monitoramento da cobertura vegetal. Um sistema composto por unidade de manejo pode ter a natureza qualitativa da cobertura vegetal monitorada em se utilizando como parâmetro de acompanhamento a frequência com que a unidade de manejo é classifi-

¹ Doutor, pesquisador, Embrapa Pecuária Sul

² Doutor, pesquisador, Embrapa Pecuária Sul

³ Mestre, analista, Embrapa Pecuária Sul

cada em classes de valores de NDVI. A decomposição da dinâmica temporal e a obtenção da tendência sem interferência de sazonalidade potencializa o uso da distribuição de frequências por classe de NDVI.

Termos de indexação: Gestão territorial, sensoriamento remoto, indicadores, uso durável

Application of the Normalized Vegetation Index to the Monitoring System of Management Units

Abstract – We started supported by the scientific advances of Remote Sensing in the study of reflectance patterns for vegetation cover systems identified by orbital sensors and expressed in the relationships between the Normalized Vegetation Index and land use. A demonstration of the application of the Standardized Vegetation Index proposed for the monitoring of Management Unit Systems. The state of the normalized vegetation index can estimate the index, to define an efficient indicator of the impacts of management systems and/or land use on the functioning of plant biological systems. We considered the Management Units of the physical area of Embrapa Pecuária Sul, located between the municipalities of Bagé and Hulha Negra, Rio Grande do Sul, as a study system. In total, 176 management units were described between the months of January 2018 and September 2020. The state of the normalized vegetation index was estimated for each unit in each of the reference months. For this purpose, satellite images made available by the European Space Agency, from the Sentinel 2 project, were used. It can be seen that the normalized vegetation index proved to be quite sensitive for the description of the state of soil cover. NDVI demonstrates being a candidate indicator for the management of practices / processes because it is sensitive to changes in the vegetation cover of management units. The analysis of the frequency distribution of management units in NDVI classes demonstrated potential use in monitoring vegetation cover. A system composed of a management unit can have the qualitative nature of the vegetation cover monitored, using as a monitoring parameter the frequency with which the management unit is classified into NDVI value classes. The decomposition of time dynamics and the obtaining of the trend without interference from seasonality enhances the use of the frequency distribution by class of NDVI.

Index terms: Territorial management, remote sensing, indicators, durable use

Introdução

A partir de dados obtidos por sensores remotos é possível a construção de indicadores para monitoramento da cobertura do solo e como ferramenta auxiliar para gestão eficiente de sistemas produtivos.

O estado da cobertura vegetal de diferentes dosséis, assim como de qualquer objeto contido em superfície de interesse, pode ser associado a um valor para reflectância (energia refletida e que não foi absorvida), transmissão e absorção de energia eletromagnética. Do estudo das relações de plantas com energia eletromagnética se sabe que do espectro total somente a região do visível (região do visível 400 a 720 nm) é absorvida. Comprimentos de onda na faixa do 720 a 1100 nm, infravermelho próximo, são refletidos pela vegetação fotossinteticamente ativa. Outro fator a ser considerado se refere à escala de estudo (Ponzoni; Shimabukuro, 2010) e a resolução espacial do sensor remoto. Resultados de reflectância, transmissão e absorção de energia eletromagnética no estudo da resposta ou do monitoramento de uma folha específica produzirá padrões de resposta para estas variáveis diferentes dos estudos realizados no monitoramento de dosséis ou cobertura vegetal.

A partir destes pressupostos importantes se podem estabelecer relações entre os registros de sensores remotos e processos importantes para a gestão de sistemas produtivos baseados em unidades de manejo e na gestão de territórios. No que se refere aos comprimentos de onda do tipo infravermelho próximo e do vermelho, pode-se perceber que, em superfícies onde haja a predominância de pigmentos clorofilados, o primeiro é refletido e o segundo tem a energia absorvida (Ponzoni; Shimabukuro, 2010). Assim, fatores quaisquer que alterem o estado de valores de reflectância, tanto de energia na faixa do infravermelho próximo quanto do vermelho, podem ser indicadores do estado do funcionamento quando contrastado com valores esperados e/ou de séries temporais relativas. Por exemplo, cultivos que sejam por alguma razão submetidos a condições de estresse hídrico podem ter na reflectância um indicador desta condição, pois a redução do teor de água nos tecidos afetará a composição de pigmentos clorofilados (Ponzoni; Shimabukuro, 2010).

De modo geral, portanto, pode-se esperar, como resultado da análise de superfícies com predominância de dosséis com maior participação de folhas, maiores valores de reflectância na faixa do infravermelho próximo e alta absorbância na faixa do vermelho. Caracterizando ou constituindo maiores va

Caracterizando ou constituindo maiores valores expressos em índices de vegetação. Os quais podem ser apresentados no formato normalizado da diferença entre os valores de reflectância para infravermelho próximo e vermelho (NDVI - abreviação da expressão em inglês “normalized difference vegetation index”) (Gurgel et al., 2003; Piñeiro et al., 2006; Ponzoni; Shimabukuro, 2010). O valor do índice de vegetação normalizado é obtido pela normalização da diferença de resposta em reflectância média de superfícies entre os comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho, ou seja, a diferença entre as duas bandas é dividida pelo somatório destas (Carlson; Ripley, 1997).

O NDVI já é reconhecido e muito utilizado como ferramenta de monitoramento desde sua proposição (Rouse et al., 1974). Um descritor poderoso com aplicação potencial na construção de indicadores para monitoramento da vegetação por ter uma alta correlação com atividade fotossintética e de fácil aquisição a partir de fontes públicas com livre acesso pela rede de dados. Diagnósticos de estado de funcionamento para ecossistemas têm sido utilizados para análise de impacto de variações climáticas (Barbosa et al., 2006; Othman et al., 2019), estabelecer a relação com produção potencial de biomassa (Puelo et al., 1997; Shiferaw; Suryabagavan, 2019) bem como o uso de ferramentas de SIG (sistemas de informação geográficas) no estado do uso da terra (Hussain et al., 2019; Guerschman et al., 2003) e de processos relativos a dinâmica da vida silvestre (Hoagland et al., 2018).

A pressão constante sobre o uso eficiente dos recursos naturais repercute na necessidade do desenvolvimento e/ou adaptação de tecnologias voltadas ao desenho de sistemas de produção mais sustentáveis, notavelmente os sistemas produtivos pastoris dos campos Sul-Brasileiros nos biomas Mata Atlântica e Pampa (Nabinger et al., 2000; Carvalho et al., 2006; Pillar et al., 2006, 2009). Indicadores de estado de funcionamento de (agro)ecossistemas podem ser ferramentas muito úteis no monitoramento e no auxílio de avaliação de práticas e/ou processos de produção no desenho de sistemas de produção mais sustentáveis em unidades de produção e/ou paisagens. Uma proposta para aproximar a produção real da expectativa que se tem com relação à produção potencial, uma realidade nos sistemas pecuários pastoris (Carvalho et al., 2006).

Sistemas biológicos se caracterizam por um conjunto de funções que tem seu estado de funcionamento dependente de mecanismos relativos ao ambiente e aqueles associados diretamente às estratégias de manejo para produção. Alterações no estado destes mecanismos têm efeitos diretos e indiretos sobre o funcionamento do sistema (que pode ser visto como o estado de funções, por exemplo, na infiltração de água no solo, evapotranspiração, produção de forragem, biomassa e grãos) e por consequência impactos/efeitos na transformação dos sistemas em produtos de origem vegetal e/ou animal.

O entendimento do funcionamento de sistemas biológicos tem tido como principal objetivo a otimização do uso dos recursos naturais para incrementos de sustentabilidade no seu funcionamento materializados na produção eficiente de alimentos. A partir do seu entendimento, é possível a construção ou a identificação de indicadores ótimos para monitorar o impacto de ações em parâmetros de referência, com aplicação potencial de indicar quão próximo ou distante se está dos objetivos definidos ou potenciais, tanto para incremento de sustentabilidade quanto para a necessidade de estratégias de mitigação ou medidas preventivas.

As estratégias de uso da terra estão diretamente relacionadas, determinam e podem identificar a partir de medidas do estado e do tipo de dossel as unidades produtivas nos sistemas produtivos e nas paisagens que compõem o espaço agrário. Através de ferramentas do geoprocessamento disponíveis em sistemas de informações geográficas se tem a possibilidade de monitorar eficientemente mudanças no uso da terra e desenvolver modelos de simulação do estado da vegetação (Mahiny; Turner, 2004; Hussain et al., 2019; Sannigrahi et al., 2020). Destas se destaca o Sensoriamento Remoto e os mecanismos de monitoramento à distância a partir de imagens obtidas através de sensores orbitais –uma importante ferramenta e instrumento para o planejamento do uso da terra e para o desenho de sistemas produtivos mais sustentáveis (Nha, 2017).

Espera-se, portanto, que o estado do índice, ou seja, os valores encontrados, indique também os tipos de estruturas vegetais e suas relações com variáveis ambientais e/ou práticas/processos de manejo.

Este documento tem por objetivo demonstrar como se poderia utilizar o NDVI como indicador auxiliar ao processo de gestão de sistemas produtivos a partir da análise aplicada a Unidades de Manejo da Embrapa Pecuária Sul

Esta publicação contribui com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2 (ODS 2) contidos na agenda 2030, proposta pela Organização das Nações Unidas, cujo objetivo visa “garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo”.

Material e Métodos

O estudo foi conduzido considerando um sistema com 176 unidades de manejo (UM) de tamanho variável da Embrapa Pecuária Sul (Figura 1), Bagé, Rio Grande do Sul, descritos mensalmente no período entre os meses de Janeiro de 2018 e Setembro do ano de 2020 (Tabela 1). A menor UM tem 0,05 ha, maior 140,65 ha, um tamanho médio de 15,87 ha com desvio padrão de 25,83 ha.



Figura 1. Representação cartográfica do espaço físico da Embrapa Pecuária Sul.

Para cálculo e caracterização da resposta das diferentes UM ao NDVI foram utilizadas as imagens das bandas Vermelho e Infravermelho Próximo, B04 e B08 respectivamente, do sensor MSI embarcado no satélite Sentinel 2. Essas imagens possuem resolução espacial de 10 m e foram obtidas diretamente no sítio da ESA¹. As imagens não tiveram nenhum tipo de tratamento prévio às estimativas calculadas para compor o NDVI. Os valores de NDVI foram obtidos através do processamento das imagens na plataforma de SIG no aplicativo QGIS². Neste documento, a NDVI será referida como valores de NDVI estimados para as unidades de manejo para cada um dos 33 meses a que o estudo se refere a Tabela 1.

Tabela 1. Datas em que os registros das imagens dos sensores orbitais do satélite Sentinel 2 foram feitos.

Data	Dia	Mês	Ano
1	8	Jan	2018
2	7	Fev	2018
3	2	Mar	2018
4	11	Abr	2018
5	13	Mai	2018
6	7	Jun	2018
7	12	Jul	2018
8	6	Ago	2018
9	5	Set	2018
10	15	Out	2018
11	19	Nov	2018
12	29	Dez	2018
13	6	Jan	2019
14	22	Fev	2019
15	7	Mar	2019
16	1	Abr	2019

¹ Disponível em: <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus>.

Continua na página seguinte...

² Disponível em: <http://qgis.org>.

17	26	Mai	2019
18	22	Jun	2019
19	2	Jul	2019
20	4	Ago	2019
21	30	Set	2019
22	10	Out	2019
23	19	Nov	2019
24	9	Dez	2019
25	18	Jan	2020
26	7	Fev	2020
27	1	Mar	2020
28	20	Abr	2020
29	17	Mai	2020
30	26	Jun	2020
31	26	Jul	2020
32	5	Ago	2020
33	4	Set	2020

Apresenta-se nos Resultados e Discussão uma estratégia de utilização do Índice Normalizado de Vegetação baseada em três abordagens de tratamento aos resultados. Uma análise que considera a frequência de UM por classe de NDVI, uma análise exploratória multivariada das UM (onde UM são consideradas descritas por 33 registros mensais de NDVIe) e uma terceira abordagem explorando o potencial dos dados como série temporal no estudo de tendências ao longo do tempo, tendo como exemplo UM classificadas como de Remanescentes da Vegetação Nativa (R).

Os resultados são apresentados nos formatos de tabela e gráfico. De acordo com os resultados de NDVI estimados (NDVIe) mensalmente para o período de estudo foi montada uma tabela com frequências de UM relativos a oito Classes de NDVI: 0 ($-1,0 \leq \text{NDVIe} < 0,1$), 0,1 ($0,1 \leq \text{NDVIe} < 0,2$), 0,2 ($0,2 \leq \text{NDVIe} < 0,3$), 0,3 ($0,3 \leq \text{NDVIe} < 0,4$), 0,4 ($0,4 \leq \text{NDVIe} < 0,5$), 0,5 ($0,5 \leq \text{NDVIe} < 0,6$), 0,6 ($0,6 \leq \text{NDVIe} < 0,7$), 0,7 ($0,7 \leq \text{NDVIe} < 0,8$). Consideramos um total de 176 UM.

As classes foram construídas levando-se em consideração a correspondência com valores observados (o maior valor observado foi inferior a 0,8 de uma escala normalizada entre -1,0 e 1,0), bem como a relação com tipos de cobertura.

Por serem os dados inerentes à descrição de sistemas como proposto, repetições de descrições das mesmas UM ao longo do tempo são incluídas análises de decomposição aditiva da tendência temporal, sazonalidade e aleatoriedade de séries temporais (Theodosiou, 2011) como estratégia complementar de demonstração da aplicação do NDVI no monitoramento de sistema de UM a partir do uso da tabela de valores absolutos de frequência por classe de NDVIe.

Uma análise exploratória do conjunto de dados é apresentada com uma estratégia de comparação entre as distintas UM as quais se integram no sistema de UM proposto (Pillar, 2006). Consideramos como unidades de observação cada uma das 176 UM onde os valores de NDVIe mensalmente configuram um sistema multivariado de descritores com 33 dimensões (dados mensais, Tabela 1). Foram utilizadas análise exploratória multivariada tanto com o propósito de comparação entre UM (análise de ordenação - coordenadas principais) quanto na busca por tendência à formação de grupos (análise de agrupamento) (Pillar, 2006) – uma demonstração de abstração possível através de uma estratégia objetiva para formação de grupos. Considera-se como fatores auxiliares na representação dos resultados para análise exploratória as classificações Área Consolidada (c) e Remanescentes da Vegetação Nativa (N), dos pressupostos do CAR.

Por serem os dados inerentes a descrição de sistemas como proposto, repetições de descrições das mesmas UM ao longo do tempo são incluídas análises de decomposição aditiva da tendência temporal, sazonalidade, e aleatoriedade de séries temporais (Theodosiou, 2011) das UM descritas como de remanescentes da vegetação nativa. Destes, foram escolhidas as UM descritas como Remanescentes da Vegetação Nativa (R), por não envolver mudanças na natureza da cobertura vegetal (campestre), possibilitando uma análise da tendência dos valores de NDVIe ao longo do período estudado sem a interferência do comportamento sazonal, bem como a identificação da existência de uma sazonalidade da resposta.

Os resultados são apresentados com o propósito demonstrativo de uma aplicação ou utilização do Índice Normalizado de Vegetação (NDVI) no monitoramento e/ou gestão de Sistema de UM, não pretendendo esgotar a discussão acerca de processos inerentes aos padrões identificáveis nos resultados apresentados.

Resultados e Discussão

Com abordagem no tratamento dos dados a seguir demonstra-se uma estratégia para utilização do NDVI como um descritor da cobertura vegetal para gestão de espaços agrários, unidades de paisagens e sistemas produtivos, voltada à potencialização do estado de funções ecossistêmicas para a proteção do solo quanto ações erosivas de eventos pluviométricos, melhoria da dinâmica de infiltração e/ou translocação da água no solo, manutenção de dosséis com potencial transformação em serviços ecossistêmicos de virtude Agrícola ou Pecuária.

Os valores absolutos dos índices de vegetação são associados e refletem um padrão de resposta a um conjunto complexo de características do sistema descrito e delimitado pelos mecanismos de imageamento utilizado e associado a um espaço delimitado (as unidades de manejo - UM). Os autores consideram o fato de que os valores numéricos e a sua dinâmica podem ser tratados como uma expressão da cobertura vegetal das UM à radiação eletromagnética (a relação entre reflectância do infravermelho próximo e vermelho). A normalização da diferença entre os valores de infravermelho e vermelho, registrados por sensores remotos em imagens orbitais (multiespectrais ou hiperespectrais), representa uma estratégia para comparação entre diferentes dosséis, através da reflectância (Ponzoni; Shimabukuro, 2010).

Aos valores de NDVI e ou o padrão/tendência podem ser considerados como associados (ou servir de indicador) a características da superfície a qual se relaciona e assim descreve. Pode-se, assim, considerar o desenvolvimento de inferências acerca da natureza e do estado de mecanismos responsáveis pelas mudanças na vegetação, dosséis de plantas e usos da terra.

A partir desta perspectiva buscou-se avaliar como os valores de NDVIe para cada uma das UM poderia representar o estado do Sistema de Unidades de Manejo (SUM), tendo como referência o sistema de UM que integra os campos experimentais da Embrapa Pecuária Sul.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados de NDVIe estimados para cada uma das UM expressos na forma de tabela com frequências de UM por classe de valores para cada um dos 33 meses do período considerado.

Tabela 2. Frequência de Unidades de Manejo (UM) em valores de contagem durante os 33 meses de observação (Janeiro de 2018 a Setembro de 2020, mais detalhes na Tabela 1) para as seguintes classes de NDVI: zero ($-1,0 \leq \text{NDVIe} < 0,1$), 0,1 ($0,1 \leq \text{NDVIe} < 0,2$), 0,2 ($0,2 \leq \text{NDVIe} < 0,3$), 0,3 ($0,3 \leq \text{NDVIe} < 0,4$), 0,4 ($0,4 \leq \text{NDVIe} < 0,5$), 0,5 ($0,5 \leq \text{NDVIe} < 0,6$), 0,6 ($0,6 \leq \text{NDVIe} < 0,7$), 0,7 ($0,7 \leq \text{NDVIe} < 0,8$). Considera-se um total de 176 UM por data de avaliação.

Data	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
1	1	0	1	17	98	58	1	0
2	1	1	14	113	44	3	0	0
3	1	0	4	45	92	29	5	0
4	1	0	4	9	11	100	50	1
5	1	0	1	7	11	18	121	17
6	1	0	0	6	12	62	88	7
7	1	0	2	2	48	72	42	9
8	1	0	1	7	57	63	40	7
9	1	0	0	4	35	68	59	9
10	1	0	0	2	4	36	96	37
11	1	0	0	2	19	51	97	6
12	1	0	0	3	14	51	106	1
13	1	0	0	2	7	25	137	4
14	1	0	1	2	10	28	128	6
15	1	0	2	3	15	66	89	0
16	1	2	3	22	87	59	2	0
17	1	3	12	75	66	18	1	0

Continua na página seguinte...

18	1	0	4	35	71	49	16	0
19	1	0	3	7	59	56	46	4
20	1	0	2	38	67	46	19	3
21	1	0	1	22	77	56	18	1
22	1	0	1	6	50	81	33	4
23	1	0	0	3	15	82	70	5
24	1	0	4	11	25	100	35	0
25	0	1	0	4	4	150	17	0
26	1	0	2	6	14	116	36	1
27	1	0	1	3	78	87	6	0
28	1	0	2	10	120	42	1	0
29	1	0	4	12	113	43	3	0
30	1	0	1	4	36	100	33	1
31	1	0	1	11	72	71	19	1
32	1	0	1	29	92	45	7	1
33	1	0	1	7	46	85	34	2
Méd.	0,97	0,21	2,21	16,03	47,55	61,09	44,09	3,85
Perc.	0,55	0,12	1,26	9,11	27,01	34,71	25,05	2,19

Uma análise dos resultados no formato apresentado na Tabela 2 oferece a possibilidade de avaliar ou caracterizar como se distribuíram as distintas UM em diferentes classes de NDVIe, e, a partir dos valores de frequência, produzir inferências acerca da natureza e do estado da cobertura do sistema. A expressão matemática do valor assume significados que podem justificar sua utilização como indicador no processo de gestão da tomada de decisão. A saber, há correlação entre a energia eletromagnética emitida e a magnitude da relação normalizada entre a reflectância da energia na faixa do infravermelho próximo e a que se observa na faixa do vermelho (Carlson; Ripley, 1997; Ponzoni; Shimabukuro, 2010). Densos dosséis de vegetação em plena atividade fotossintetizante tendem a ser descritos ou a produzir registros que se caracterizam por uma alta reflectância do Infravermelho próximo e a baixos valores no Vermelho. Este comportamento se expressa em valores NDVIe próximos a 0,8.

De modo geral, pode-se concluir que aproximadamente 86% das UM tiveram, no período entre os meses de janeiro de 2018 e setembro de 2020, coberturas de solo que oscilaram entre as classes de NDVI 0,4, 0,5 e 0,6. Somente 2,9% das UM chegaram a valores que se enquadram na classe 0,7, menos de 1% nas classes de valores inferiores a 0,2, 1,26% na classe 0,2 e 9,11% na classe 0,3. A escala de valores de NDVI oscila entre -1 e 1. Para um diagnóstico de qualidade da cobertura vegetal são interessantes valores que oscilem entre 0,3 e 0,8, onde pode-se dizer que UM com maiores leituras (tendência a se aproximar de 0,8) ou que estejam nas classes de maior valor apresentam uma cobertura vegetal mais ativa fotossinteticamente e, portanto, com maior valor potencial do que aquelas que se encontrem em classes inferiores (próximos a classe 0,3). Dos valores resultantes das operações matemáticas com imagens de sensores orbitais que definem o NDVI pode-se supor ou esperar que UM com valores positivos entre 0,3 e 0,8 contêm um crescente e mais denso dossel de vegetação – onde são menos efetivos, no que se refere à atividade dos pigmentos clorofilados, quando com valores próximos a 0,3, e mais ativos nas classes que tendem a 0,8. Por outro lado, valores negativos representam a presença de nuvens e fontes de água. Para UM com maior presença de solo descoberto são esperados valores de NDVI entre 0,1 e 0,2. Deve-se destacar o fato de que os valores de NDVI relativos às UM em estudo descrevem superfícies ou dosséis (Ponzoni; Shimabukuro, 2010) onde cada pixel possui 10x10m (objetos menores do que 100 m² ou 0,01 ha não são discretizados).

Assim, pode-se dizer que 2,19% das UM descritas na Tabela 2 registram dosséis de vegetação com os maiores valores de NDVI no período estudado, e que 0,7 das leituras foram inferiores a 0,8 e superiores ou iguais a 0,7. Valores próximos ao máximo, 0,8. Em outro extremo da análise, considerando os casos em que se observou UM que registraram valores de NDVI inferiores a 0,3, ou seja, se observou 1,93% de UM, em média, sem cobertura vegetal. Para os 33 meses se avalia que em média mensal menos de 4 UM permaneceram sem cobertura vegetal, 2 UM com valores na classe 0,7.

Por outro lado, ainda considerando médias mensais, 95,88% das UM se mantiveram entre as classes 0,3, 0,4, 0,5 e 0,6, com cobertura vegetal, onde mensalmente 25,05% das UM estiveram na classe 0,6, 34,71% na classe 0,5 e 27,01% na classe 4.

Uma análise das ocorrências mensais dos dados apresentados na Tabela 2 permite também um acompanhamento dos registros mensais e a identificação de um provável efeito sazonal nos dados.

Evidência que se pode deduzir do observado em três períodos: um entre as datas 1 e 4, um segundo entre 14 a 22 e outro entre as datas 24 e 33. Estes períodos se destacam pelos registros de UM nas classes 0,1 e 0,2, caracterizando um período que se pode definir como momentos de aumento do número de UM sem cobertura vegetal viva, com atividade dos pigmentos clorofilados. A seguir ao primeiro período destaca-se o intervalo entre as datas 5 e 14, por ter início os apontamentos de UM com os maiores valores de NDVI registrados, onde, na data 10, estiveram 37 UM na classe 0,7.

Pode-se deduzir que uma análise rápida da frequência de classificação para UM em classes de NDVI proporciona a identificação para mudanças mensais na natureza e qualificação objetiva da cobertura vegetal do sistema de unidades descrito na Tabela 2. Esta interpretação refere-se à descrição da natureza com a qual determinada cobertura vegetal se desenvolve na superfície que está sendo descrita neste sistema.

Pode-se agregar a interpretação contida na Tabela 2 à expressão percentual mensal apresentada na Figura 2. A expressão percentual na Figura 2 complementa a análise dos dados de contagem absolutos apresentado na Tabela 2. Através da descrição percentual dos dados de frequência pode-se interpretar o comportamento do sistema ao longo do tempo e comparar de modo mais intuitivo as relações de magnitude nos diferentes momentos que integram a dinâmica temporal, permitindo uma apresentação com potencial de maior alcance da análise de tendências.

Uma análise da expressão percentual mensal dos dados absolutos descritos na Tabela 2 em formato gráfico, como descrito na Figura 2, pode-se avaliar graficamente tendências dos sistema de UM de modo mais intuitivo, possibilitando que se explore padrões da dinâmica temporal por classe de valores de NDVI.

Claramente, pode-se perceber dois picos percentuais nos dados apresentados na Figura 2: um na data 13 e o segundo na data 25. O primeiro com 77,84% e o segundo com 85,23% das UM, para as classes 0,6 e 0,5, respectivamente.

Pode-se perceber uma forte tendência de redução na qualidade da cobertura vegetal para o mês de janeiro (2020, data 25) quando comparado com o mesmo mês no ano anterior (2019, data 13). Segue-se a estas duas datas a tendência de queda na qualidade da cobertura vegetal para o sistema de UM, haja visto que entre as datas 15 e 23 entre aproximadamente 30% e menos de 50% das UM estavam na classe 0,4. A partir da data 25 pode-se perceber uma clara tendência de redução da qualidade da cobertura vegetal com o aumento do número de UM classificadas na classe 0,4. Destaca-se o crescimento de UM nesta classe (0,4) para o período entre as datas 26 (com menos de 8% das UM) e 28, quando se configura um cenário indicativo de que há uma gradual queda na qualidade da cobertura vegetal, onde se identifica que esta classe chega a quase 70% das UM. Após o mês 29 verifica-se uma tendência de equilíbrio dinâmico entre as classes 0,5 e 0,6 (que pode ser identificado pela alternância de valores).

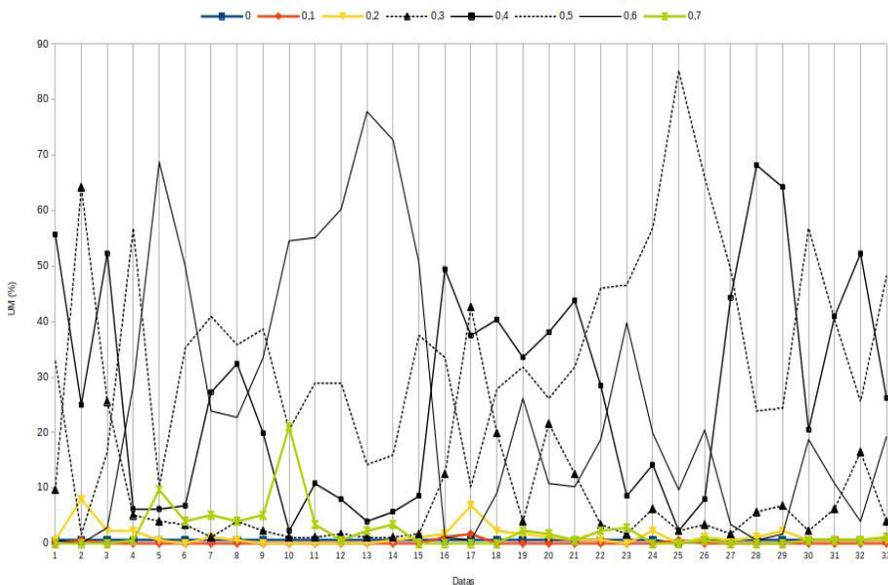


Figura 2. Frequência de Unidades de Manejo (UM) em valores percentuais mensais nos 33 meses de observação (janeiro de 2018 a setembro de 2020, mais detalhes na Tabela 1) para as seguintes classes de NDVI: 0 ($-1,0 \leq \text{NDVI} < 0,1$), 0,1 ($0,1 \leq \text{NDVI} < 0,2$), 0,2 ($0,2 \leq \text{NDVI} < 0,3$), 0,3 ($0,3 \leq \text{NDVI} < 0,4$), 0,4 ($0,4 \leq \text{NDVI} < 0,5$), 0,5 ($0,5 \leq \text{NDVI} < 0,6$), 0,6 ($0,6 \leq \text{NDVI} < 0,7$), 0,7 ($0,7 \leq \text{NDVI} < 0,8$).

Com exceção da classe 0,7, onde se percebe um evidente crescimento no número de UM na data 10, as demais classes (0, 0,1, 0,2 e 0,3), como apresentado na Figura 2, apresentam uma tendência estável a uma pequena parcela de UM do sistema.

Deve-se destacar o comportamento descrito na Figura 2 nos três primeiros meses do ano de 2018 (datas de 1 a 3). Pode-se perceber uma alternância de predominância da frequência de UM entre as classes 0,3 e 0,4. Tão somente na data 4 ocorre o crescimento do percentual de UM com coberturas vegetais de classe 0,5 e 0,6. Destaca-se uma ligeira queda na qualidade da cobertura vegetal nos meses 7 e 8, a partir do crescimento da frequência de UM na classe 0,4.

Com uma análise geral dos dados expressos na Figura 2, pode-se perceber, de modo até mesmo intuitivo, que houve mudanças na expressão quantitativa da qualidade de coberturas e/ou usos da terra para o sistema de UM, no período monitorado. Ou seja, o percentual de UM que se apresentava nas distintas classes apresentadas muda ao longo do tempo e tende a expressar uma tendência que pode ser percebida pelos padrões com que acontecem alternâncias de frequências com que as UM ocorrem nas classes de NDVI.

São destacados estes padrões como expressão da frequência de UM descritas por NDVI e aplicação como indicador de monitoramento qualitativo e quantitativo para a gestão de sistemas.

Considerando-se uma análise da frequência absoluta com que as UM descrevem a natureza e a qualidade de coberturas vegetais expressas em classes relativas a valores de NDVI e por um período de tempo, o sistema resultante pode ser considerado como uma série temporal. A partir dos resultados absolutos apresentados na Tabela 2, apresenta-se na Figura 3 um diagrama com a descrição da tendência de número de UM para as classes 0,6, 0,5, 0,4, e 0,3, como resultado da decomposição das séries temporais relativas – uma estratégia complementar à representação quantitativa com valores absolutos sistematizados na Tabela 2, ou seja, a descrição da dinâmica mensal a partir de dados percentuais mensais expressos na Figura 2.

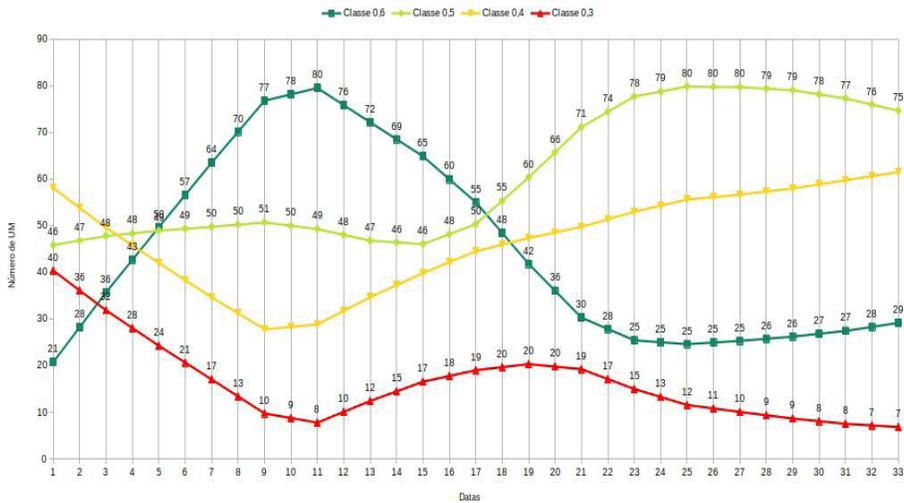


Figura 3. Tendência do número de UM para as classes de NDVI e 0,3, 0,4, 0,5 e 0,6. Os dados de frequência apresentados na Tabela 2 para as classes de NDVI e foram submetidas ao método de decomposição de série temporal da aplicação STLPlus disponível no pacote RStudio (Versão 1.2.5033).

Como pode-se observar na Figura 3 a decomposição da série temporal descrita pela dinâmica da frequência de UM nas classes 0,6, 0,5, 0,4 e 0,3 nos permite melhorar a avaliação da tendência temporal e avaliar a dinâmica entre as classes ao longo do tempo. Possibilita uma análise sem a interferência da sazonalidade e dos fatores aleatórios como contido nos dados da Tabela 2. Pode-se perceber uma clara tendência de incremento no número de UM na classe 0,6 nos primeiros 11 meses seguido por um período de declínio que se alonga até o mês 23 e de uma estabilidade no final do monitoramento. Por outro lado, há um incremento de UM nas classes 0,4 (nas datas 11 a 33), 0,3 (datas 11 a 20) e 0,5 (datas 15 a 27). Pode-se assim esperar, para o sistema em estudo, uma tendência de alteração da qualidade das coberturas vegetais em se mantendo os mecanismos de controle da natureza e da qualidade de dosséis vegetais. Pois, diferentemente do observado no início do período amostral até setembro de 2018, no terceiro ano de monitoramento no período entre as datas 25 e 33 se observa um menor número de UM da classe 0,6 e um crescente de UM nas classes 0,5 e 0,4, o oposto do observado no primeiro ano de monitoramento.

A seguir, na Figura 4 apresenta-se um diagrama de ordenação das UM em função dos valores de NDVI mensais para o período de estudo, com o propósito de descrição da estrutura de dados utilizados. Também se apresenta uma proposta descritiva dos resultados observados, bem como uma análise comparativa entre UM, onde são apresentados os resultados relativos ao estado do índice normalizado de vegetação (NDVI) para cada uma das unidades de manejo da Empresa Pecuária Sul para o período estudado. Nos diagramas da Figura 4, é feita uma comparação entre 175 UM (desconsiderou-se nesta análise a UM relativa ao reservatório de água), levando-se em consideração os valores de resposta mensais registrados no período de estudo. Busca-se, nestas representações (Figuras 4a e 4b), uma comparação de similaridade e dissimilaridade entre as UM descritas pela dinâmica mensal de NDVI. As representações gráficas apresentadas na Figura 4 são apresentações complementares de mesma análise, graficamente separadas para facilitar a interpretação dos resultados.

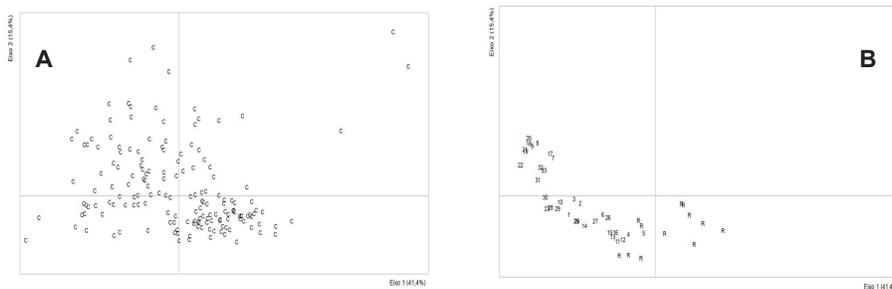


Figura 4. Diagramas de mesma ordenação (A, B) das UM em função dos valores do NDVI observados em todo o período de estudo (janeiro de 2018 a setembro de 2020), onde C = áreas consolidadas e R = remanescente da vegetação natural. Os dados foram submetidos à Análise de Coordenadas Principais (PCoA) e a medida de similaridade utilizada foi a Distância Euclidiana entre Unidades de Manejo.

Descritores voltados para a caracterização de cobertura e Uso da Terra (UT) são considerados em uma perspectiva descritiva complementar sobre a interpretação dos dados. Utilizado aqui como exemplo para a inclusão de descritores na identificação de mecanismos responsáveis pelas tendências nas relações de causa e efeito a partir da análise dos padrões de arranjo entre UM, considerando o conjunto total de descritores. Justifica-se o exemplo por ser o UT determinante de características fundamentais da natureza de cobertura do solo e, assim, poder ser relacionado ao estado de Índices Vegetacionais como o NDVI.

Estão implícitos nas UM informações relativas à natureza da cobertura e/ou uso da terra. Por conseguinte, há a possibilidade de uso de tais informações como rótulo de descrição das UM. No diagrama da Figura 4a é apresentado o comportamento das UM classificadas como de área consolidada e na Figura 4b são apresentadas as UM de remanescentes da vegetação natural.

A maior proximidade entre caracteres (C, R) nos diagramas da Figura 4 irá indicar uma maior semelhança em se considerando a descrição nos 33 meses de monitoramento. Por outro lado, um distanciamento entre rótulos de UM definirá uma resposta distinta.

A posição na Figura 4 da combinação numérica descreve a correlação do descritor mensal com os eixos de ordenação I e II (horizontal e vertical, respectivamente). Assim, quanto mais próximo do mês ou dos meses em questão, maior será o valor do NDVI para a UM em questão. Por outro lado, quanto mais distante, menor o valor de NDVI.

Pode-se perceber uma tendência de comportamento do NDVI bastante variado para as unidades de manejo classificadas como de Área Consolidada (c na Figura 4a), enquanto que aquelas com Remanescentes da Vegetação Nativa (R, Figura 4b) demonstraram uma tendência para valores de NDVI mais estáveis para o período em estudo.

A classificação de uso da terra considerada nesse trabalho se refere aos termos descritos no Cadastro Ambiental Rural. No que se refere às áreas consolidadas, define-se uma gama ampla de diferentes naturezas da composição de dosséis ao longo do tempo.

Dependem da atividade Agropecuária a que as unidades são dedicadas e as escolhas de itinerário técnico. Estas irão influenciar na natureza da cobertura vegetal e/ou de ausência desta. Por outro lado, Remanescentes da Vegetação Natural referem-se somente a alterações relativas à natureza do dossel vegetal natural, pois não são associadas a alterações de cobertura. Pode-se perceber, assim, que estas características terão reflexo no padrão mensal do NDVI dentro de áreas consolidadas, onde se pode observar estados variáveis entre unidades de manejo para os meses de estudo. Pode-se observar, contudo, que nos remanescentes da vegetação nativa avaliados, o estado do NDVI mensal se mostra estável para o período de estudo, quando comparados com aquelas unidades relativas a áreas consolidadas.

Pode-se perceber, assim, uma potencial complementariedade importante de análise multivariada no monitoramento de sistemas de UM, pois permite um diagnóstico comparativo do conjunto de unidades, levando-se em consideração a totalidade do período de estudo.

Foi agregada à análise de ordenação uma análise de agrupamento, ou seja, uma classificação das UM em função dos valores mensais de NDVI. Na Figura 5 são apresentados os resultados do processo de classificação como rótulos das UM descritas pela análise de ordenação apresentada nos diagramas da Figura 4.

Complementarmente ao perceptível, em se interpretando os resultados considerando cobertura e/ou uso da terra, a identificação dos grupos permite o seguinte diagnóstico: o grupo 3, representado na Figura 5c sintetiza aquelas UM com os menores valores de NDVI estimados para o período de estudo; com o grupo 4, representado na Figura 5d, identificou-se aquelas UM com tendência aos melhores estados de NDVI; ao grupo 2, pode-se atribuir um desempenho intermediário, mas com destaque para os valores de NDVI nas datas 4, 5, 11, 12, 13, 15 e 16 (M4, M5, M11, M12, M13, M15 e M16), onde se espera ter havido melhor desempenho do que o observado nos demais meses; no grupo 1, representado na Figura 5a, pode-se perceber um comportamento inverso ao que se pode atribuir ao grupo 2, com destaque para o desempenho nas datas 7, 8, 9, 19, 20, 21, 22, 31, 32, 33 (M7, M8, M9, M19, M20, M21, M22, M31, M32, M33).

Quando considerado quatro grupos de UM, a síntese apresentada na Figura 5 permite a representação das UM agrupadas em função dos NDVI, sem uma separação consistente entre os tipos de cobertura e uso da terra considerados, ou seja, há grupos em que se misturam diferentes coberturas e usos da terra. Isso porque NDVI é um parâmetro que descreve a relação de reflectância entre duas faixas do espectro de energia registrado por sensores orbitais associados a uma superfície terrestre e resolução espacial. Entender as relações entre padrões de registros e a natureza dos objetos descritos representa uma oportunidade para transformá-lo em um potente indicador. O fato de não se ter encontrado tendências de separação para grupos de UM com cobertura e/ou uso da terra está associado à dinâmica temporal de práticas e processos de manejo, descritas pelo monitoramento apresentado.

Pode-se deduzir, assim, que o índice normalizado de vegetação se apresenta como um bom indicador de estado da cobertura vegetal, pois reflete características dos diversos usos, permitindo que se possa traçar mecanismos de monitoramento à distância e até mesmo de monitorar o estado de uso da terra, pois é sensível a modificações dentro da mesma classe de uso da terra.

Às possibilidades complementares de abordagem no tratamento do conjunto de dados descritivos para o monitoramento de sistemas com UM diversas, propõe-se ainda um olhar voltado para uma exploração inicial em previsões de estados futuros. Destaca-se, assim, os dados descritivos de UM classificadas como de Remanescentes da Vegetação Nativa e avalia-se a decomposição dos dados da série temporal na identificação de tendências sem a interferência da sazonalidade de resposta e fatores aleatórios. Unidades classificadas como de Remanescentes da Vegetação Nativa apresentam uma estabilidade de natureza da cobertura terrestre. Como consequência há uma maior estabilidade na cobertura vegetal menos susceptível a alterações ao longo do ano.

Na Figura 6 apresenta-se a Dinâmica dos valores médios de NDVIe para as UM de Remanescentes da Vegetação Natural e uma análise da tendência onde são excluídos os efeitos de sazonalidade e aleatórios (Figura 7).

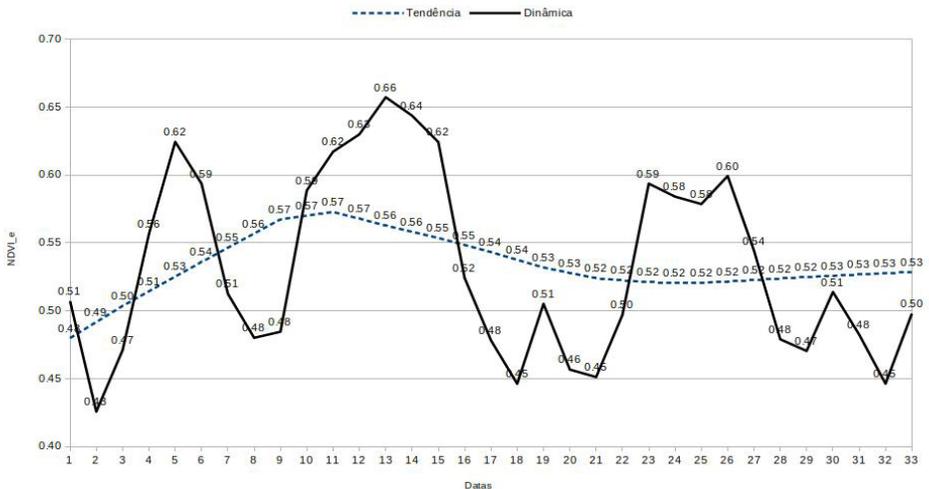


Figura 6. representação gráfica dos valores médios de NDVIe (linha tracejada) e da tendência de UM de Remanescentes da Vegetação Natural submetidas ao método de decomposição de série temporal da aplicação STLPlus disponível no pacote RStudio (Versão 1.2.5033).

Pode-se perceber na Figura 6 a eficácia do método proposto na identificação de tendências e sua importância para o tratamento de séries temporais. A dinâmica dos valores médios de NDVIe, ao ser tratada como série temporal, representa a expressão de informações que podem ser decompostas como relativas à existência de uma sazonalidade, fatores aleatórios ou ruídos (Figura 7) e a uma tendência.

Ao analisar a Figura 6, pode-se perceber que, ao se retirar dos dados médios descritivos das unidades de Remanescentes da Vegetação Nativa a aleatoriedade e o efeito sazonal, há uma tendência de comportamento. Pode-se perceber uma tendência à flutuação nos dados de NDVI do tempo 1 ao 3 e a partir deste período um comportamento diferenciado, com mudanças suaves no crescimento deste índice. Deduz-se, também, sobre a existência de uma sazonalidade (Figura 7) nos valores de NDVI para as unidades de manejo onde há cobertura vegetal, que o uso da terra se mantém como de remanescente da vegetação nativa.

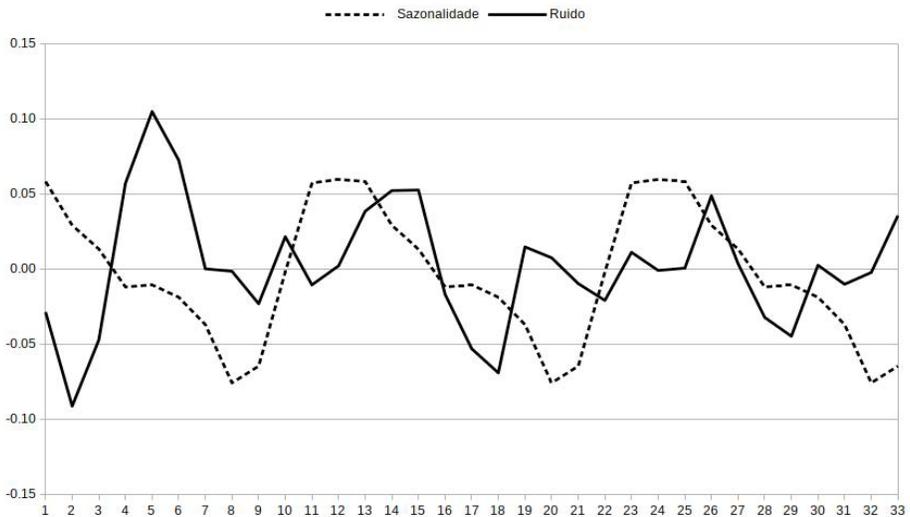


Figura 7. representação gráfica dos valores médios de NDVIe (linha tracejada) e da tendência de UM submetidas ao método de decomposição de série temporal da aplicação STLPlus disponível no pacote RStudio (Versão 1.2.5033).

Há a possibilidade de modelagem do estado futuro para o índice de vegetação em unidades de manejo de remanescentes da vegetação nativa. Assim, há a possibilidade do uso do Monitoramento de NDVI como um indicador de estado de funcionamento de sistemas de Unidades de Manejo, com uso da terra definido como de Remanescentes da Vegetação Nativa.

Espera-se de indicadores o uso potencial para o desenvolvimento de modelos que permitam a construção de mecanismos de suporte para decisões futuras e antecipação de ações mitigadoras de impactos negativos, assim como ações prioritárias para potenciais de transformação a partir de alterações futuras.

Considerações finais

O NDVI demonstra ser um candidato a indicador para a gestão de práticas/processos por ser sensível a alterações na cobertura vegetal de unidades de manejo;

A análise da distribuição de frequência de unidades de manejo em classes de NDVI demonstrou potencial uso no monitoramento da cobertura vegetal;

Um sistema composto por unidade de manejo pode ter a natureza qualitativa da cobertura vegetal monitorada em se utilizando como parâmetro de acompanhamento a frequência com que unidades de manejo são classificadas em classes de valores de NDVI;

A decomposição da dinâmica temporal e a obtenção da tendência sem interferência de sazonalidade potencializam o uso da distribuição de frequências por classe de NDVI.

Referências

- BARBOSA, H.; HUETE, A.; BAETHGEN, W. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 67, n. 2, p. 288-307, Oct. 2006.
- CARLSON, T. N.; RIPLEY, D. A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. **Remote Sensing of Environment**, v. 62, n. 3, p. 241-252, Dec. 1997.
- CARVALHO, P. C. de F.; FISCHER, V.; SANTOS, D. T. dos; RIBEIRO, A. M. L.; QUADROS, F.L. F. de; CASTILHOS, Z. M. S.; POLI, C. E. C.; MONTEIRO, A. L. G.; NABINGER, C.; GENRO, T. C. M.; JACQUES, A. V. A. Produção animal no bioma Campos Sulinos. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais... João Pessoa: Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 2006. p. 156-202.
- GUERSCHMAN, J. P.; PARUELO, J. M.; BURKE, I. C. Land use impacts on the normalized difference vegetation index in temperate Argentina. **Ecological Applications**, v. 13, n. 3, p. 616-628, June 2003.
- GURGEL, H. da C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Study of NDVI variability in Brazil using cluster analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 85-90, abr. 2003.
- HOAGLAND, S. J.; BEIER, P.; LEE, D. Using MODIS NDVI phenoclasses and phenoclusters to characterize wildlife habitat: Mexican spotted owl as a case study. **Forest Ecology and Management**, v. 412, p. 80-93, Mar. 2018.
- HUSSAIN, S.; MUBEEN, M.; AHMAD, A.; AKRAM, W.; HAMMAD, H. M.; ALI, M.; MASOOD, N.; AMIN, A.; FARID, H. U.; SULTANA, S. R.; FAHAD, S.; WANG, D.; NASIM, W. Using GIS tools to detect the land use/land cover changes during forty years in Lodhran District of Pakistan. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 39676-39692, Ago. 2019.
- MAHINY, A. S.; TURNER, B. J. Modelling past vegetation change through remote sensing and gis : a comparison of neural networks and logistics regression methods. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOINFORMATICS AND MODELING GEOGRAPHICAL SYSTEM, 7., 2003, Beijing. **Proceedings...** United Kingdom: University of Southampton, 2003. 1 CD-ROM.
- NABINGER, C.; MORAES, A. d.; MARASCHIN, G. E. Campos in Southern Brazil. In: LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; MORAES, A. de; NABINGER, C.; CARVALHO, P. C. de F. (ed.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford: CABI, 2000. p. 355-376.
- NHA, D. V. The role of land-use planning on socioeconomic development in Mai Chau District, Vietnam. In: THANH, M. V.; VIEN, T. D.; LEISZ, S. J.; SHIVAKOTI, G. P. (ed.). **Redefining diversity and dynamics of natural resources management in Asia**. Amsterdam: Elsevier, 2017. v. 2, p. 87-111.
- OTHMAN, M. A.; ASH'AARI, Z. H.; ARIS, A. Z.; RAMLI, M. F. Forest degradation analysis using geospatial techniques approach in tropical region of Pahang, Malaysia. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 42, n. 4, W16, p. 511-514, Oct. 2019.

PARUELO, J. M.; EPSTEIN, H. E.; LAUENROTH, W. K.; BURKE, I. C. ANPP estimates from NDVI for the central grassland region of the United States. **Ecology**, v. 78, n. 3, p. 953-958, Apr. 1997.

PILLAR, V. DE P. **MULTIV**: Multivariate Exploratory Analysis, Randomization Testing and Bootstrap Resampling. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de Ecologia, 2006. 51 p.

PILLAR, V. DE P.; BOLDRINI, I. I.; HASENACK, H.; JACQUES, A. V. A.; BOTH, R.; MÜLLER, S. C.; EGGERS, L.; FIDELIS, A.; SANTOS, M. M. G.; OLIVEIRA, J. M.; CERVEIRA, J.; BLANCO, C.; JONER, F.; CORDEIRO, J. L.; PINILLOS GALINDO, M. **Estado atual e desafios para a conservação dos campos**. Porto Alegre: UFRGS, 2006. 24 p. Disponível em: <http://www.ecologia.ufrgs.br/ecologia/campos/>. Acesso em 12 fev. 2021.

PILLAR, V. DE P.; MULLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. de S.; JACQUES, A. V. A. (ed.). **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2009. 403 p.

PIÑEIRO, G.; OESTERHELD, M.; PARUELO, J. M. Seasonal variation in aboveground production and radiation-use efficiency of temperate rangelands estimated through remote sensing. **Ecosystems**, v. 9, n. 3, p. 357-373, abr. 2006.

PONZONI, J. F.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 127 p.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1974. **Proceedings...** Greenbelt: Nasa, 1974. p. 301-317.

SANNIGRAHI, S.; CHAKRABORTI, S.; BANERJEE, A.; RAHMAT, S.; BHATT, S.; JHA, S.; SINGH, L. K.; PAUL, S. K.; SEN, S. Ecosystem service valuation of a natural reserve region for sustainable management of natural resources. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 5, p. 100014, Feb. 2020.

SHIFERAW, D.; SURYABHAGAVAN, K. V. Forest degradation monitoring and assessment of biomass in Harennu Buluk District, Bale Zone, Ethiopia: a geospatial perspective. **Tropical Ecology**, v. 60, n. 1, p. 94-104, Mar. 2019.

THEODOSIOU, M. Forecasting monthly and quarterly time series using stl decomposition. **International Journal of Forecasting**, v. 27, n. 4, p. 1178-1195,

Embrapa

Pecuária Sul



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

