



Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental
Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental

SÉRGIO LUÍS DIAS MACHADO

**ANÁLISE DA DINÂMICA DE FITOFISIONOMIAS DO
CERRADO USANDO SÉRIES TEMPORAIS DE NDVI E
TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE.**

UBELÂNDIA (MG)

2017

SÉRGIO LUIS DIAS MACHADO

**ANÁLISE DA DINÂMICA DE FITOFISIONOMIAS DO CERRADO
USANDO SÉRIES TEMPORAIS DE NDVI E TEMPERATURA DE
SUPERFÍCIE.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental.

Orientador: Claudionor Ribeiro da Silva

Co-orientadora: Aracy Alves de Araújo

UBERLÂNDIA (MG)

2017

**ANÁLISE DA DINÂMICA DE FITOFISIONOMIAS DO CERRADO
USANDO SÉRIES TEMPORAIS DE NDVI E TEMPERATURA DE
SUPERFÍCIE.**

SÉRGIO LUIS DIAS MACHADO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Claudionor Ribeiro da Silva (Orientador) – UFU

Prof^ª. Dr^ª. Tatiane Assis Vilela Meireles - UFU

Prof. Dr. Sérgio dos Reis Marques Madeira – UTAD/Portugal

Data: ____ / ____ de ____

Resultado:

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

- M149a
2017 Machado, Sérgio Luis Dias, 1990
Análise da dinâmica de fitofisionomias do cerrado usando séries temporais de NDVI e temperatura de superfície / Sérgio Luis Dias Machado. - 2017.
79 f. : il.
- Orientador: Claudionor Ribeiro da Silva.
Coorientadora: Aracy Alves de Araújo.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental.
Inclui bibliografia.
- I. Qualidade ambiental - Teses. 2. Cerrados - Teses. 3. Geotecnologia ambiental - Teses. 4. - Teses. I. Silva, Claudionor Ribeiro da. II. Araújo, Aracy Alves de. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental. IV. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento do projeto ao qual essa dissertação está vinculada. Foi um apoio imprescindível ao desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), órgão ambiental do governo brasileiro, pelo apoio na coleta de informações na ilha da usina hidrelétrica de Três Marias/MG. Foi um apoio indispensável à realização desse trabalho.

RESUMO

Nas últimas décadas tem ocorrido um maior envolvimento da sociedade com as questões ambientais. Discursos em encontros e eventos mundiais e locais demonstram uma maior preocupação com a relação entre o ser humano e a natureza e têm apontado os desafios para que essa relação seja cada vez mais sustentável. Juntamente com essa crescente necessidade e preocupação ambiental, a tecnologia aparece como forte aliada, especialmente na coleta de dados cada vez mais acurados para auxiliar em tarefas como o manejo e o planejamento ambiental. Com o desenvolvimento tecnológico da indústria de satélites/sensores/imagens em termos de qualidade espectral, espacial, radiométrica e temporal, as geotecnologias surgem como uma ferramenta útil nesse processo de gestão e planejamento ambiental. O histórico de imagens digitais que remota à década de 80, do século XX, facilita o desenvolvimento de metodologias que buscam compreender a dinâmica ambiental no tempo, auxiliando o ser humano na tomada de decisões acertadas, o que pode reduzir os danos causados ao meio ambiente. Nesse contexto, esse estudo buscou analisar o comportamento fenológico de fitofisionomias do Cerrado (Estação Ecológica de Pirapitinga - Morada Nova de Minas/MG) com o uso de séries temporais de NDVI e temperatura de superfície, determinados a partir de imagens digitais, obtidas com o sensor TM do satélite Landsat 5. Para tanto, foi realizado um estudo por série temporal, analisando as variáveis intrínsecas, tais como tendência, sazonalidade, cointegração e previsão. Os resultados indicam que ambas as séries, NDVI e temperatura de superfície, apresentam tendência, sazonalidade e não apresentam cointegração. A previsão da série NDVI apresentou um erro padrão inferior a 0,079 e isso representa a geração de informação futura, de qualidade, de variadas fitofisionomias do Cerrado, que atualmente sofrem com um acelerado processo de degradação, sendo, portanto, útil em processos como: recuperação, manejo, gestão de áreas degradadas, bem como arquivamento de informação em caso de extinção de espécies de uma fitofisionomia.

Palavras-chaves: Cerrado, Fitofisionomia, Geotecnologia, Série Temporal.

ABSTRACT

In the last decades, a bigger involvement of the society on environmental issues has taken place. Speeches in meetings and worldwide and local events have demonstrate a bigger concern about the relation between man and nature and are pointing out the challenges to this relationship become each time more sustainable. Together with this growing environmental necessity and concern, the technology appears as a strong ally, especially in the gathering of accurate data to help in tasks like environmental management and planning. With the technological development of satellite/sensors/images industry in terms of spectral, spatial, radiometric and temporal quality, the geotechnologies arise as useful tool in this environmental management and planning process. The digital images historic relative to the 1980 decade, facilitates the development of methodologies aiming to comprehend the temporal dynamics of the environment, aiding the human beings to make better decisions, which can mitigate the damage inflicted to the environment. In this context, this study aimed to analyze the phenological behavior of the Cerrado phytophysionomy (Pirapitinga Ecological Station – Morada Nova de Minas/MG) using temporal series of NDVI and superficial temperature, determined from digital images obtained with the TM sensor of Landsat 5 satellite. Therefore, was performed a study by temporal series, analyzing intrinsic variables, such as tendency, seasonality, cointegration and prediction. The NDVI series prediction shown a standard error under 0,079 and this represents the generation of quality future information, about several Cerrado phytophysionomies that currently suffers from a quick process of degradation, therefore, being useful in processes like: recovering, handling and management of degraded areas, as well as information archiving in case of the extinction of a species of a phytophysionomy.

Key-words: Cerrado, Phytophysionomy, Geotechnologies, Time Series.

Índice de Quadros e Tabelas

Quadro 01: Organização das séries.....	30
Quadro 02: Dados de previsão da série T_Str.....	42
Quadro 03: Dados de previsão da série T_Meso.....	54
Quadro 04: Dados de previsão da série T_Cerr.....	67
Tabela 01: Resultados do teste de tendência simples para T_Str.....	34
Tabela 02: Resultados do teste de tendência quadrática para T_Str.....	35
Tabela 03: Resultados do teste de tendência logarítmica para T_Str.....	36
Tabela 04: Resultados dos testes de tendência simples, quadrática e logarítmica para N_Str.....	37
Tabela 05: Ajuste do modelo X-12-ARIMA com a série T_Str.....	40
Tabela 06: Ajuste do modelo X-12-ARIMA com a série N_St.....	43
Tabela 07: Modelo ajustado pela regressão de cointegração.....	46
Tabela 08: Resultados do teste de tendência simples para T_Meso.....	48
Tabela 09: Resultados do teste de tendência quadrática para T_Meso.....	49
Tabela 10: Resultados do teste de tendência logarítmica pata T_Meso.....	49
Tabela 11: Resultados dos testes de tendência simples, quadrática e logarítmica para N_Meso.....	50
Tabela 12: Ajuste do modelo X-12-ARIMA com a série T_Meso.....	53
Tabela 13: Ajuste do modelo X-12-ARIMA com a série N_Meso.....	56
Tabela 14: Resultados dos testes de tendência simples, quadrática e logarítmica para T_Cerr.....	60
Tabela 15: Resultados dos testes de tendência simples, quadrática e logarítmica para N_Cerr.....	63
Tabela 16: Ajuste do modelo X-12-ARIMA com a série T_Cerr.....	66
Tabela 17: Ajuste do modelo X-12_ARIMA com a série N_Cerr.....	68
Tabela 18: Modelo ajustado pela regressão de cointegração.....	71

Índice de figuras

Figura 01: Comportamento espectral da vegetação.....	21
Figura 02: Localização da Estação Ecológica e Pirapitinga.....	27
Figura 03: Fitofisionomias da Estação Ecológica de Pirapitinga.....	29
Figura 04: Medidas de temperatura de superfície e de NDVI referentes à fitofisionomia <i>Stricto Sensu</i>	34
Figura 05: Valores do modelo efetivo e ajustado para T_Str.....	35
Figura 06: Resíduos da regressão (valores observados – valores ajustados de T_Str)	37
Figura 07: Resíduos da regressão (valores observados – valores ajustados N_Str)	38
Figura 08: Periodogramas das séries: a) T_Str e b) N_Str.....	39
Figura 09: Periodogramas suavizados das séries: a) T_Str e b) N_Str.....	39
Figura 10: Previsão da série T_Str para o ano de 2010.....	41
Figura 11: Previsão da série T_Str para o ano de 2011.....	42
Figura 12: Previsão da série N_Str para o ano de 2010.....	44
Figura 13: Previsão da série N_Str para o ano de 2011.....	45
Figura 14: Medidas de temperatura de superfície e de NDVI (no período analisado) referentes à fitofisionomia Mata Mesofítica.....	47
Figura 15: Valores do modelo efetivo e ajustado para T_Meso.....	48
Figura 16: Resíduos da regressão (valores observados – valores ajustados de T_Meso)	50
Figura 17: Gráficos dos valores observados e ajustados da série N_Meso: a) tendência simples, b) tendência logarítmica e c) tendência quadrática.....	51
Figura 18: Periodogramas das séries: a) T_Meso e b) N_Meso.....	51
Figura 19: Periodogramas das séries suavizadas: a) T_Meso com duas defasagens sazonais w b) N_Meso com uma defasagem sazonal.....	52
Figura 20: Previsão da série T_Meso para o ano 2010 com 100 últimas observações.....	54
Figura 21: Previsão da série T_Meso para o ano 2011.....	55
Figura 22: Previsão da série N_Meso para o ano 2010.....	57
Figura 23: Previsão da série N_Meso para o ano 2011.....	58
Figura 24: Medidas de temperatura de superfície e de NDVI referentes à fitofisionomia Cerradão.....	60
Figura 25: Valores do modelo efetivo e ajustado para T_Cerr.....	61

Figura 26: Gráfico da tendência quadrática para T_Cerr.....	62
Figura 27: Gráfico da tendência logarítmica para T_Cerr.....	62
Figura 28: Gráficos de valores observados e ajustados para N_Cerr.....	63
Figura 29: Periodogramas das séries: a) T_Cerr e b) N_Cerr.....	64
Figura 30: Peridogramas das séries suavizadas: a) T_Cerr com duas defasagens sazonais e b) N_Cerr com uma defasagem sazonal.....	65
Figura 31: Previsão da série T_Cerr para o ano 2010 com 100 últimas observações.....	66
Figura 32: Previsão da série T_Cerr para o ano 2011.....	68
Figura 33: Previsão da série N_Cerr para o ano 2010.....	69
Figura 34: Previsão da série N_Cerr para o ano 2011.....	70

Sumário

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. OBJETIVOS	10
1.1.1. Geral	10
1.1.2. Específicos	10
1.2. JUSTIFICATIVA	11
1.3. HIPÓTESE	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. PRESERVAÇÃO AMBIENTAL	13
2.2. PRESERVAÇÃO AMBIENTAL NO BRASIL	14
2.3. BIOMAS	16
2.4. GEOTECNOLOGIAS E ESTUDOS AMBIENTAIS	19
2.4.1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	22
2.4.2. Temperatura de Superfície	24
2.4.3. Series Temporais	25
3. MATERIAL E MÉTODO	27
3.1. Área de Estudo	27
3.2. Material Usado	28
3.3. Método	28
3.3.1. Preparação dos Dados	28
3.3.2. Análises e Testes das Séries Temporais	31
4. RESULTADOS	33
4.1. STRICTO SENSU	33
4.1.1. Análise de Tendência	33
4.1.2. Análise de Sazonalidade	38
4.1.3. Análise de Estacionariedade	39
4.1.4. Aplicação do Modelo SARIMA para Previsão das Séries	40
4.1.5. Cointegração entre as Séries T_Str e N_Str	45
4.2. MATA MESOFÍTICA	46
4.2.1. Análise de Tendência	46

4.2.2. Análise de Sazonalidade	51
4.2.3. Análise de Estacionariedade	52
4.2.4. Análise do Modelo SARIMA (1, 2, 1 x 1, 1, 1) com a Série T_Meso	53
4.2.5. Análise do Modelo SARIMA (0, 1, 1 x 1, 1, 1) com a Série N_Meso	55
4.2.6. Cointegração entre as Séries T_Meso e N_Meso	58
4.3. CERRADÃO	59
4.3.1. Análise de Tendência	59
4.3.2. Análise de Sazonalidade	64
4.3.3. Análise de Estacionariedade	65
4.3.4. Análise do Modelo SARIMA (0, 0, 1 x 1, 2, 1) com a Série T_Cerr	65
4.3.5. Análise do Modelo SARIMA (0, 0, 0 x 1, 2, 1) com a Série N_Cerr	68
4.3.6. Cointegração entre as Séries T_Cerr e N_Cerr	70
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

1. INTRODUÇÃO

A ocupação humana, nos diferentes pontos do planeta, sempre causou consequências ao meio ambiente. Sabe-se que nos séculos passados, XIX e XX, devido à Revolução industrial e ao intenso uso de matéria prima, a ocupação humana causou sérios danos ao meio ambiente. Entretanto, a preocupação ambiental que antes quase não existia ou pelo menos não era tão evidente, começou a ter destaque na sociedade, principalmente na comunidade científica.

Com a crescente populacional presenciada no século passado, o ser humano se viu diante de um conflito antes impensado, que era como aliar o crescimento econômico e social com a demanda de recursos e a preservação do ambiente. Para tanto, começaram a acontecer eventos para a discussão da questão ambiental; estudos mais aprofundados e específicos para formas de uso e ocupação da Terra; estudos de preservação dos ambientes, desenvolvimento de políticas voltadas para a questão ambiental. Enfim, uma série de medidas voltadas para o desenvolvimento econômico e social e para o meio ambiente (JENSEN, 2005).

Com o passar dos anos, a evolução tanto do pensamento quanto da tecnologia, e a forma de observar, julgar e tomar medidas referentes ao meio ambiente foram se modificando. Deixou-se de observar os ambientes localmente e passou-se a fazer uma análise mais ampla, onde pode-se perceber que as consequências e problemas da ação global interfere no local e a premissa inversa também é válida.

Por tratar-se de elementos que estão ligados, o desenvolvimento econômico e social e a necessidade da preservação ambiental, a tecnologia tem-se mostrado uma grande aliada na solução de problemas. Foram desenvolvidos aparelhos capazes de captar dados em maior escala espacial e temporal; computadores para armazenamento, análise e processamentos de grandes conjuntos de dados, entre outros. Observa-se então, que com o desenvolvimento tecnológico cada vez mais evidente, é necessário que se use disso para auxiliar nas diversas formas de gestão dos recursos ambientais bem como no monitoramento dos mesmos (JENSEN, 2005).

Com dimensões continentais, o Brasil possui uma área que ocupa diferentes latitudes, o que acaba por influenciar as condições locais para desenvolvimento da fauna e flora, criando particularidades em cada região. Essas particularidades, como mostram os seis diferentes biomas (Amazônia com 49,29% da área territorial; Cerrado (23,92%), Mata Atlântica (13,04%), Caatinga (9,92%), Pampa (2,07%) e Pantanal com 1,76%) existentes no país, devem ser observadas e levadas em consideração nos estudos ambientais. Uma ferramenta interessante para lidar com esse

problema é a Geotecnologia, que permite a aquisição e tratamento de dados espaciais, em largas escalas (JAKOB 2002; MARTINS; MONTEIRO, 2016)

Com essas dimensões, o país abriga em seu território uma grande variedade de espécies vegetais e animais em diferentes biomas. Sendo assim, existe uma dificuldade considerável de acompanhar os processos ambientais em todo seu território devido às particularidades de cada região. Uma forma de amenizar essa dificuldade é analisar os biomas separadamente. Entende-se que acompanhar a evolução dos processos ambientais, bem como os elementos que influenciam nessa evolução, como o comportamento temporal da cobertura vegetal de uma área, são pontos de extrema importância para embasar outros trabalhos, servindo de suporte para o desenvolvimento de políticas que busquem a conservação e a preservação ambiental (GUERRA, 1980; ROCHA, 2000; MIRANDA, 2005).

Nesse estudo, serão analisadas temporalmente três fitofisionomias do Cerrado usando imagens orbitais. Nesse contexto, objetiva-se extrair informações temporais acerca da cobertura vegetal do Cerrado na Estação Ecológica de Pirapitinga, em Morada Nova de Minas/MG, com intuito de analisar o comportamento temporal das espécies presentes nesse bioma. Para tanto, são geradas para a área de estudo duas séries de imagens, sendo uma processada pelo índice de vegetação da diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index - NDVI*) e outra pelo cálculo da temperatura de superfície (TEMPSUP), obtidas a partir das imagens Landsat 5/TM, no período de 1984 a 2010. O NDVI mostra a intensidade da clorofila presente nas espécies vegetais ao longo do ano e a TEMPSUP é um fator causador da variação da intensidade de clorofila na vegetação. Portanto, essas séries serão estudadas para analisar o comportamento temporal da cobertura vegetal do Cerrado, bem como para prever valores de NDVI e TEMPSUP futuros. As informações obtidas nas séries temporais são importantes para ações de prevenção, gestão e monitoramento do bioma e na Estação Ecológica de Pirapitinga (CARVALHO JUNIOR et al., 2008; BAYMA; SANO, 2015).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Geral

Analisar o comportamento temporal das fitofisionomias do Cerrado (*Stricto Sensu, Mata Mesofítica e Cerradão*) na Estação Ecológica de Pirapitinga, através de séries temporais, entre os anos de 1984 e 2010.

1.1.2. Específicos

- ✓ Determinar os valores dos índices NDVI em todas as cenas utilizadas;
- ✓ Calcular a temperatura de superfície usando todas as cenas analisadas;
- ✓ Processar as séries temporais NDVI e TEMPSUP e analisar as variáveis intrínsecas;
- ✓ Analisar a relação entre as séries temporais NDVI e TEMPSUP, bem como mostrar uma previsão futura dessas variáveis.

1.2. JUSTIFICATIVA

A crescente evolução da tecnologia aliada à velocidade de transmissão de informação deve auxiliar os processos de preservação ambiental, buscando novas soluções para os problemas ambientais e compreender os fatores determinantes para evolução dos ambientes.

O NDVI é um índice que permite medir a intensidade de clorofila presente na vegetação, o que, conseqüentemente, possibilita a análise do comportamento da vegetação ao longo do tempo. Em cada estação do ano a intensidade de clorofila varia e esse fenômeno pode ser sutilmente medido, de forma prática, com o NDVI.

A temperatura de superfície além de ser um fator causador de variação da intensidade de clorofila na vegetação, devido aos processos químicos e biológicos ocorridos com a interação da energia eletromagnética e a vegetação, é um bom indicador de ocorrências de queimadas e de áreas descobertas/desmatadas.

A previsão de uma variável ambiental pode apontar problemas futuros, dando suporte à prevenção e monitoramento. Isto é, tendo conhecimento do comportamento da variável ao longo do tempo é possível tomar decisão com segurança e com tempo hábil para corrigir ou minimizar os impactos ambientais. Conhecer a dinâmica da evolução da cobertura vegetal e seus fatores externos proporciona um melhor ordenamento da ocupação e das propostas de manejo.

1.3. HIPÓTESE

O conhecimento da dinâmica da evolução da cobertura vegetal e sua previsão contribuem para um melhor ordenamento de uso e ocupação dos solos, bem como para tomadas de decisão nos processos de preservação ambiental. Então, torna-se necessário usar dos meios tecnológicos disponíveis para a aquisição, análise e processamento de dados espaciais para dar suporte nessa questão. Os dados advindos de sensores orbitais proporcionam informações sobre a superfície

terrestre em grandes áreas e com atualização constante. Esses dados tratados e analisados da forma adequada têm potencial relevante nos processos de apontamentos e correções dos problemas ambientais atuais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PRESERVAÇÃO AMBIENTAL

A importância da preservação ambiental já é vista no âmbito da ciência há muitos anos, com ênfase no século XX, onde surgiram diversos movimentos em busca da compreensão da importância ambiental e formas de preservação. Ainda durante o século XX, aconteceram os primeiros encontros organizados pelas Nações Unidas, onde a preocupação ambiental passou a ser tratada em escala global, a Conferência das Nações Unidas Sobre o Ambiente Humano, conhecida como, Estocolmo-72, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, Rio-92, entre outros encontros.

A Conferência de Estocolmo (Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, 1972) foi a primeira grande reunião organizada pelas Nações Unidas a concentrar-se sobre questões de Meio Ambiente. Sua convocação foi consequência da crescente atenção internacional para a preservação da natureza, e do descontentamento de diversos setores da sociedade quanto às repercussões da poluição sobre a qualidade de vida das populações. (LAGO, 2006, p. 17)

Após a iniciativa na Suécia em 1972, a conferência organizada pelas Nações Unidas no Rio de Janeiro em 1992 teve números expressivos e avanços significativos (LAGO, 2006). Aponta-se esse evento com sendo o maior já organizado pelas Nações Unidas até aquele ano, que contou com a presença de 172 países e 180 Chefes de Estado ou de Governo. Observa-se então, que a questão ambiental se torna alvo de discussões internacionais e que a questão ambiental passa a permear nas discussões políticas.

(...) vinte anos após Estocolmo, havia-se tornado suficientemente importante na agenda internacional para justificar o deslocamento de um número inédito de Chefes de Estado e de Governo para uma única reunião. (LAGO, 2006, p. 53)

Em 2002, ocorreu a Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável em Johannesburgo na África do Sul, que como afirma Lago (2006), foi uma cúpula convocada para acelerar os objetivos e propostas que foram aprovadas na Rio-92, e que essa cúpula serviu também para mostrar uma relação que se tornava cada vez mais estreita as agendas globais de comércio e o meio ambiente.

Visto isso, nota-se uma evolução no pensamento humano em relação ao meio ambiente, a importância de haver um ambiente equilibrado e saudável para as mais diversas populações do planeta, animais e vegetais. Além disso, foi observada a necessidade aliar esse equilíbrio com os

mais diversos fatores da sociedade como o desenvolvimento econômico, crescimento populacional, transportes e outros tantos.

Sabe-se que a interferência humana no ambiente é deveras grande, e a tecnológica que é desenvolvida deve ser utilizada como aliada para fortalecer e preservar a relação do ser humano como do meio ambiente. As geotecnologias possuem potencial para auxiliar o desenvolvimento sustentável, com qualidade de vida e respeito ao meio ambiente.

De fato, as geociências se adaptam a essa tendência geral e começam a direcionar parte significativa de suas pesquisas e aplicáveis para o desafio do desenvolvimento sustentável, procurando dar respostas as demandas correlatas. (BITAR, 2000, p. 78)

Devido ao aumento da quantidade de estudos aliado as descobertas e propostas, a tecnologia precisa se adequar e melhorar as metodologias de análise. Nesse contexto, começaram a surgir diversos estudos usando as geotecnologias como base para aquisição de dados para análise e tomada de decisão sobre diversas áreas de estudo, inclusive para a questão ambiental aqui abordada.

2.2. PRESERVAÇÃO AMBIENTAL NO BRASIL

A legislação brasileira sobre Unidades de Conservação (UC's) vem na forma da Lei 9.985 de 18 de julho de 2000, Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, conhecida como lei do SNUC. É nessa Lei que se encontra todas as definições e objetivos da conservação e preservação ambiental, onde tem-se conceitos como conservação da natureza, recurso ambiental, preservação e conservação, entre vários outros (BRASIL, 2000).

Dentre todos os conceitos mencionados nessa Lei, destaca-se o conceito de Unidade de Conservação, pois este estudo foi realizado em Unidades de Conservação. Pela Lei, entende-se como unidade de conservação, um espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000).

Por sua vez, as unidades de conservação são divididas em Unidades de Proteção Integral, que tem como objetivo a preservação da natureza, com uso de recursos apenas de forma indireta e as Unidades de Uso Sustentável, que objetiva a compatibilização da conservação ambiental e o uso sustentável de uma parte dos recursos naturais (BRASIL, 2000).

Instituídos então por meio da Lei 9.985/2000, os objetivos do Sistema Nacional de Unidades de Conservação são: (I) contribuir para a manutenção da diversidade biológica e dos recursos genéticos no território nacional e nas águas jurisdicionais; (II) - proteger as espécies ameaçadas de extinção no âmbito regional e nacional; (III) - contribuir para a preservação e a restauração da diversidade de ecossistemas naturais; (IV) - promover o desenvolvimento sustentável a partir dos recursos naturais; (V) - promover a utilização dos princípios e práticas de conservação da natureza no processo de desenvolvimento; (VI) - proteger paisagens naturais e pouco alteradas de notável beleza cênica; (VII) - proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural; (VIII) - proteger e recuperar recursos hídricos e edáficos; (IX) - recuperar ou restaurar ecossistemas degradados; (X) - proporcionar meios e incentivos para atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento ambiental; (XI) - valorizar econômica e socialmente a diversidade biológica; (XII) - favorecer condições e promover a educação e interpretação ambiental, a recreação em contato com a natureza e o turismo ecológico; (XIII) - proteger os recursos naturais necessários à subsistência de populações tradicionais, respeitando e valorizando seu conhecimento e sua cultura e promovendo-as social e economicamente (BRASIL, 2000).

Um dos objetivos do SNUC é propriamente proporcionar meios e incentivos para atividades de pesquisa científicas, estudos e monitoramento ambiental, alcançados aqui, por meio deste trabalho. Além disso, as condições que a Lei exige que existam no ambiente das unidades de conservação, que possibilita um ambiente controlado e apto para o desenvolvimento de pesquisas científicas e que podem devolver resultados significativos para a população.

Por se tratar de um território extenso, são encontradas dificuldades para mapear, contabilizar e gerenciar as UCs no Brasil. Normalmente há um conflito de dados no diversos bancos e órgãos oficiais do governo. Segundo o Instituto Chico Mendes, existem 326 Unidades de conservação que estão espalhadas pelo território brasileiro e que são gerenciadas pelo próprio instituto. Entretanto, no próprio mapeamento disponível no site oficial, a somatória das UCs, o bioma Amazônico, maior bioma brasileiro, com 116 UCs, o Cerrado com 58 UCs, a Caatinga com 30 UCs, a Mata Atlântica com 130 UCs, o Pampa possui 2 UCs e o Pantanal com 3 UC, além de 60 UCs marinhas espalhadas pela costa brasileira, totaliza um número diferente, 399 UCs.¹

¹ Consulta realizada no site do Ministério do Meio Ambiente: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso: 01/02/2016

Também de responsabilidade do Ministério do Meio Ambiente, com colaboração do IBAMA e dos órgãos estaduais e municipais competentes, foi instituído pela Lei 9.985/2000, o Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC) que se trata de um cadastro que todas as UCs devem possuir, onde seria de domínio público as principais informações referentes as unidades de conservação e outras características relevantes das mesmas (BRASIL, 2000). Entretanto, nesse cadastro são encontradas 2035 UCs de gestão federal, estadual e municipal, e além das UCs que não estão cadastradas.²

Apesar do número expressivo de UCs existentes no Brasil, esse número passa a não ser muito considerável quando comparado com a dimensão territorial do Brasil, que segundo o IBGE (2016), é de 8.515.767,049 km². Infelizmente o Instituto Chico Mendes não possui a informação sobre as áreas ocupadas pelas UCS em todos os biomas. Porém, para uma melhor compreensão das áreas de conservação diante da dimensão territorial do Brasil, o Instituto aponta que no Cerrado, bioma que mais vem sofrendo alterações nos últimos anos, a área ocupada pelas 55 UCS é de apenas cerca de 8,21% da sua área total.³

2.3. BIOMAS

Segundo o Mapa de Cobertura Vegetal publicado pelo Ministério do Meio Ambiente, existem seis tipos de biomas no Brasil, com suas características específicas. São eles: o bioma Amazônico, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Pampas.

O bioma Amazônico é o mais extenso do país, com área total de 4.196.943 km² (IBGE, 2004); possui ainda uma enorme biodiversidade vegetal, contando com cerca de 2.500 espécies de árvores e 30 mil espécies de plantas. A região ainda conta com a maior bacia hidrográfica do mundo, que tem como rio principal o Rio Amazonas, cortando o continente sul-americano de oeste a leste e desaguando no Oceano Pacífico. Devido a essa grande diversidade e possibilidades de exploração, as atividades antrópicas são monitoradas e controladas, uma vez que podem ser irreversíveis dada a fragilidade apresentada pelo bioma⁴ (MMA, 2016).

A Mata Atlântica talvez seja o bioma que mais sofreu com a atividade antrópica. Segundo dados disponibilizados pelo Ministério do Meio Ambiente, originalmente o bioma contava com

² Idem.

³ Idem.

⁴ Consulta realizada no site do Ministério do Meio Ambiente: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso: d05/02/2016

uma área total de 1.300.000 km², chegando a ocupar 17 estados. Com a exploração dos recursos naturais, essa área foi reduzida drasticamente e estima-se que no país exista apenas 22% desse total, em diferentes fases de recuperação, e apenas 7% estão conservados. Apesar de todo o problema enfrentado pelo bioma, desde a descoberta e exploração do território brasileiro, ainda são encontradas cerca de 20.000 espécies vegetais.

O Pantanal ocupa a menor área dentre os biomas brasileiros, com 150.355 km² (IBGE, 2004). É uma das maiores planícies permanentemente alagadas do mundo, contando com grande diversidade animal e vegetal, com cerca de 2 mil espécies de plantas catalogadas. O bioma sofre bastante com a atividade antrópica, principalmente a agropecuária⁵ (MMA, 2016).

O bioma Pampa está localizado especificamente no estado do Rio Grande do Sul e tem área equivalente a 176.496 km² (IBGE, 2004), e possui biodiversidade considerável, contando com cerca de 3000 espécies de plantas, especialmente gramíneas. A principal atividade da região, desde os tempos de colonização, é a pecuária extensiva, que acaba por ser a principal atividade econômica, mas também é causadora dos principais impactos ambientais da região, degradando e descaracterizando as paisagens naturais da região⁶ (MMA, 2016).

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, sendo superado em área apenas pela Amazônia. Ocupa 21% do território nacional e é considerado a última fronteira agrícola do planeta (BORLAUG, 2002). Segundo IBGE (2004), o Cerrado ocupa uma área de 204,7 milhões de hectares, localizados predominantemente na porção central do território brasileiro. Os domínios do Cerrado ocupam partes de onze estados brasileiros, incluindo o Distrito Federal.

O Cerrado caracteriza-se como uma formação do tipo savana tropical, com destacada sazonalidade presença, em diferentes porções, de formações herbáceas, arbustivas e arbóreas (EITEN, 1993; RIBEIRO e WALTER, 1998). A atividade agropecuária dentro do Cerrado é bastante intensa, contando com culturas extensas de milho, soja, feijão e outros, o que causa um enorme prejuízo para o ecossistema, devido ao desmatamento das áreas e migração de animais. Segundo o Ministério do Meio Ambiente, o Cerrado é um dos *hotspots* da biodiversidade mundial, sendo a savana mais rica do mundo. O Cerrado é um dos biomas terrestres de maior endemismo e diversidade de espécies (CASTRO, 1999; OLIVEIRAFILHO e RATTER, 2002).

⁵ Idem.

⁶ Consulta realizada no site do Ministério do Meio Ambiente: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso: 05/02/2016

Abriga 11.627 espécies de plantas já catalogadas, 199 espécies de mamíferos, 837 espécies de aves, além da quantidade elevada de peixes, répteis e anfíbios. Somada a essa grande biodiversidade, o Cerrado ainda tem uma série de fitofisionomias com características particulares. Assim como a maioria das savanas do mundo, o Cerrado não é um tipo homogêneo de habitat, mas sim um mosaico de fisionomias vegetais que incluem desde campos abertos, savanas propriamente ditas, até florestas densas (OLIVEIRA-FILHO e RATTER 2002).

Apesar dessa biodiversidade imensa e importante, segundo o Ministério do Meio ambiente, estima-se que 20% de todas as espécies endêmicas e nativas já não tem ocorrências em áreas protegidas e ainda que de toda a fauna animal presente, pelo menos 127 espécies estão ameaçadas de extinção.

Segundo Machado et al. (2004), apenas 20% da cobertura original do Cerrado permanece intacta e somente 2,2% de sua área original de ocorrência está inserida em áreas protegidas. A retirada da cobertura vegetal e suas consequências totais são oriundas das atividades humanas, que com o passar dos anos foram sendo desenvolvidas sem a preocupação ambiental necessária.

No Brasil, as pressões antrópicas, principalmente oriundas do setor agropecuário, ocasionaram significativos danos ambientais ao Cerrado (ALGER e LIMA, 2003). É nesse contexto que surge a importância de estudos para preservação do Cerrado, devido a todas as pressões sofridas pelo bioma diante da atividade antrópica.

A Caatinga foi bastante alterada nos últimos séculos pelas atividades antrópicas, além disso possui uma dinâmica bastante sensível com um regime pluviométrico que varia entre 200 e 800mm. Segundo Ministério do Meio Ambiente, a Caatinga ocupa cerca de 844.453 quilômetros quadrados, valor equivalente a 11% de todo o território nacional, distribuídos em 10 estados, em sua maioria localizados na região nordeste do país. Possui ainda uma enorme biodiversidade, contando com 78 espécies de mamíferos, 591 de aves, 177 de répteis, 79 espécies de anfíbios, 241 de peixes e 221 abelhas.

Existe ainda um fator social que é determinante para a forma de ocupação e exploração dos recursos dispostos nesse bioma. Com sua maior porção localizada na região nordeste do Brasil, região com a maior desigualdade social do país, abriga pelo menos 27 milhões de pessoas. O bioma sofre ainda devido a carência de recursos e políticas socioambientais, e até mesmo da informação da importância de preservação por parte da população.

Nota-se com o que foi exposto, a grande diversidade faunística e florística no país, além das peculiaridades locais de cada bioma, o que mostra uma necessidade de realização de estudos direcionados. Com toda a pressão que o Cerrado sofre diante das ações antrópicas, presença de grande parte da população brasileira, clima, entre outros, faz com que estudos de manejo, conservação e ocupação sejam cada vez mais necessários, afim de criar metodologias para minimizar os impactos ambientais nas áreas onde esse bioma ocorre e no país como um todo.

2.4. GEOTECNOLOGIAS E ESTUDOS AMBIENTAIS

Naturalmente, o avanço tecnológico tem tendência a auxiliar as demandas da sociedade, visto que a tecnologia facilita e otimiza processos que antes eram onerosos e complexos. Na questão ambiental, como já citado, não é diferente e as possibilidades aumentam devido aos intensos estudos e trabalhos que buscam aliar a tecnologia à conservação e preservação dos recursos naturais ou mesmo em processos de uso e ocupação de áreas.

Fala-se aqui nesse trabalho, especificamente das Geotecnologias, que segundo Pinheiro (2009), compreendem as técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e sistemas de posicionamento global, e representam ainda ferramentas com alta capacidade para o tratamento e análise de dados. As possibilidades de trabalho com as Geotecnologias são vistas em diversos trabalhos sobre as mais variadas temáticas. Nesse trabalho, em específico, serão utilizados o Sensoriamento Remoto e algumas funcionalidades do Processamento Digital de Imagens, para adquirir as informações objetivas sobre os alvos.

Sensoriamento Remoto é definido como a obtenção de informações sobre um objeto sem entrar em contato físico com ele, e determina ainda as formas de obtenção dessas informações, que são a partir da detecção e mensuração das mudanças que o objeto observado com os campos de força a sua volta, campos eletromagnéticos, acústicos ou potenciais (ELACHI, 1987). Essa definição torna o conceito menos amplo, visto que existem aparelhos que possibilitam a aquisição de informações.

Existem algumas formas de obtenção de informação por Sensoriamento Remoto: por fotografias aéreas, por radares, por sensores terrestres e sensores orbitais, instalados em satélites artificiais, além de outras formas de aquisição de informação, sem contato com o objeto, como sismógrafos ou sonares, para estudos de ventos e fenômenos que ocorrem na superfície, por meio da interação entre os elementos e radiação eletromagnética. (GIRI, 2016; NOVO, 2010)

Como citado acima, as informações serão coletadas a partir de sensores orbitais, e hoje existe uma grande quantidade de possibilidades para isso. Existem diversos satélites que possuem sensores acoplados, que são capazes de imagear a superfície terrestre, tais como Landsat, CBERS, QuickBird, IKONOS, SPOT, WorldView entre outros. As diferenciações entre cada um dos sensores apontados estão ligadas às suas próprias características ou à qualidade da imagem gerada pelo sensor. Essas características levam a conceitos básicos para trabalhar com sensoriamento remoto, que são os conceitos de resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal (Li et al, 2016).

Segundo Novo (2010), a resolução espacial pode ser entendida como a menor feição passível de detecção pelo instrumento em questão. Ainda segundo a autora, a resolução espacial depende de fatores como o campo de visada e campo de visada instantâneo, altura do sensor e poder de resolução do sensor, dentre outros. O conceito pode então ser entendido como a menor área real representada em ambiente digital por um pixel, o que nos leva a compreender os objetos que podemos observar nas imagens.

Ainda na conceituação de Novo (2010) entende-se por resolução espectral como uma medida da largura das faixas espectrais e da sensibilidade que o sistema sensor possui de distinguir dois níveis de intensidade no sinal de retorno. Por outro lado, a resolução radiométrica é definida por Novo (2010) como a capacidade de um sensor em distinguir as variações na energia do alvo. Essa energia pode ser energia refletida, emitida ou retroespalhada da superfície do alvo observado. Essa capacidade é vista por exemplo, nos níveis de cinza representados em uma imagem. Por fim, a resolução temporal refere-se ao tempo em que um sensor leva para registrar informações sobre um mesmo ponto na Terra.

A decisão para escolher o sensor de trabalho deve estar voltada para essas características das imagens, que devem ser analisadas para que os dados adquiridos atendam às necessidades da pesquisa. Deve ser levado em consideração o preço das imagens que, quando se tratando de imagens de maior resolução, seja ela qual for, normalmente possuem um valor mais elevado.

Para o desenvolvimento de pesquisas no Brasil, o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) apresenta uma boa opção, ao distribuir imagens gratuitamente. Através de seu site oficial, o INPE disponibiliza um catálogo com todas as imagens geradas pelos satélites da série Landsat, CBERS, Aqua e Terra e ResourceSat-1. Como já citado, as características das imagens devem ser

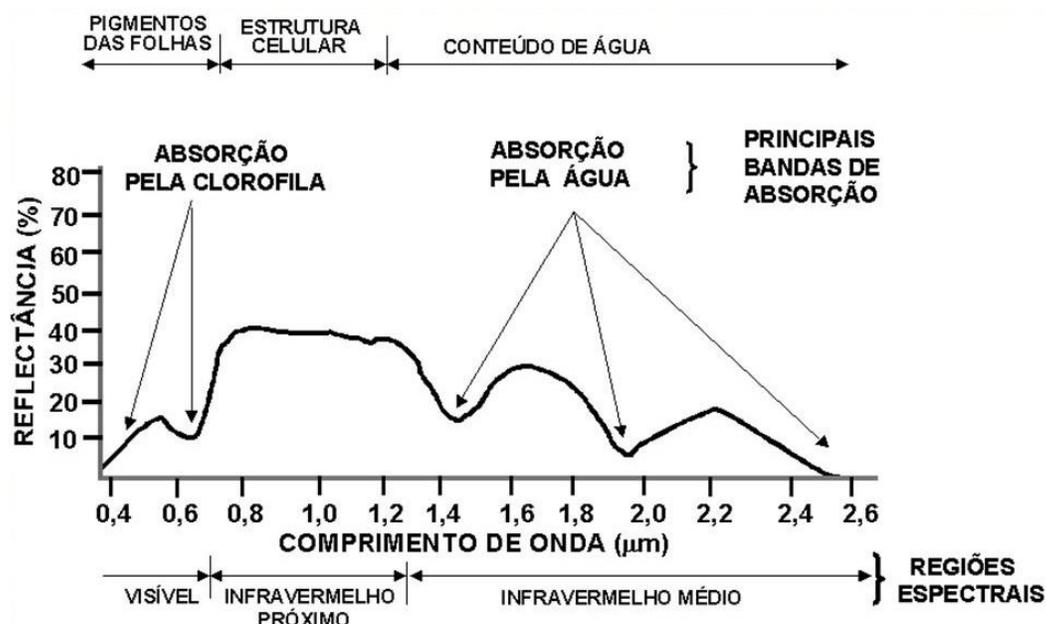
observadas com atenção antes de se iniciar uma pesquisa, pois apesar da disponibilidade das imagens pelo INPE, as suas resoluções não atendem a todo e qualquer tipo de trabalho.

A obtenção de informações sobre os alvos, pelos sensores, sem o contato direto com eles, é possível a partir da captação da energia eletromagnética emitida pelos alvos, originada de uma fonte externa natural ou artificial (NOVO, 2010, p. 44; PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

Essa fonte de energia eletromagnética natural e mais conhecida o Sol. Essa energia é captada pelos sensores, e a partir daí são geradas as informações sobre os alvos em questão, representadas por imagens no espaço bidimensional. Essas imagens são compostas por células denominadas de pixels, e cada pixel possui um valor que é chamado de Número Digital (ND) ou tons de cinza. A variação nos valores de NDs ou de tons de cinza está relacionada com a resolução radiométrica das imagens.

Cada alvo registrado pelo sensor se comporta de uma forma diferente, o que faz com que os valores de NDs sejam diferentes e esse comportamento varia de acordo com a faixa do espectro eletromagnético que o sensor está configurado e com a forma com que os alvos reagem à radiação eletromagnética (NOVO, 2010, p. 241). Tem-se então outro ponto importante que se refere ao comportamento espectral dos alvos, como pode ser observado na Figura 01.

Figura 01 – Comportamento espectral da vegetação



Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/1258206>.

Essa característica da imagem é importante porque registrar diferentes objetos, como a vegetação, permitindo analisar detalhes de uma espécie em específico, ou um conjunto de espécies, como uma fitofisionomia. Além dessa característica, merece ser destacado o período de revisita do sensor a uma determinada área, o que permite uma análise temporal de um determinado objeto ou fenômeno. Quanto menor for esse tempo de revisita, maior será a série temporal, podendo ser diária, quinzenal e/ou mensal.

Para a extração de alguma informação particular em uma imagem digital é necessário usar uma técnica específica de processamento digital de imagem que garanta o isolamento dessa informação em detrimento de outras. São técnicas como classificação, segmentação e ou cálculo de índices.

2.4.1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI

Até aqui foi apresentada a importância da utilização da tecnologia para estudos ambientais, algumas possibilidades de obtenção de informação e a importância de escolher bem a fonte de dados para evitar problemas futuros. Visto isso, apresenta-se agora o processo que é uma das chaves da proposta deste trabalho, que é a obtenção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada ou como é mais conhecido, o NDVI.

Antes de compreender o que é de fato esse índice mencionado, precisa-se compreender um pouco do que é o Processamento Digital de Imagens, ferramenta pela qual serão adquiridos os valores de NDVI, e que possibilita ainda a obtenção de uma série de informações. O Processamento Digital de Imagens ou o PDI, como é mais conhecido, é segundo Meneses (2012), um conjunto de algoritmos matemáticos que possibilitam diversas técnicas de processamentos para o usuário. Essas técnicas são utilizadas com o intuito de melhorar a qualidade da informação a ser extraída da imagem.

Essas técnicas foram desenvolvidas para extrair informação em imagem e para corrigir erros que podem ocorrer na captura das imagens pelos sensores ou interferências/ruídos, o que facilita a interpretação das imagens por parte do operador. Essas correções podem ser de ruídos, efeitos atmosféricos e outros, e é necessário que se observe e selecione bem a técnica a ser utilizada de acordo com seus objetivos.

O processamento de imagens de sensoriamento remoto deve ser orientado para cada tipo de problema. Por exemplo, uma técnica que é eficaz na remoção de ruídos presentes em uma

imagem, da qual interessa apenas a sua textura e não tanto a identificação de bordas, não é eficaz para identificar as altas frequências que caracterizam as mudanças de padrões em áreas urbanas (MENESES, 2012, p. 82).

Existe uma série de operações matemáticas que representam cada um dos processos dentro do universo do Processamento Digital de Imagens, relacionadas com os Números Digitais contidos nas imagens de sensores orbitais, como os cálculos dos índices de vegetação.

Com o avanço dos estudos, foram desenvolvidos vários tipos de índices de vegetação. A criação de índices ilustra muito bem uma das operações com bandas mais comuns no processamento digital de imagens, a divisão de bandas (LIESENBERG, et al, 2007; CARVALHO et al, 2008; PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). Segundo Meneses (2012), o índice mais conhecido que temos é a divisão de bandas com objetivo de realçar as variações na densidade da cobertura vegetal. Usa-se então os intervalos no espectro eletromagnético onde a vegetação possui maior reflectância e maior absorção da radiação, e efetua-se a divisão entre essas bandas. Conforme gráfico ilustrado na Figura 1, observa-se que na vegetação, a principal banda de absorção está centrada em 650 nm, região visível da luz vermelha, situada entre 630 nm a 690 nm, e a região de maior reflectância é no infravermelho próximo, nos comprimentos de onda de 760 nm a 900 nm (MENESES, 2012, p. 147).

Após a divisão das bandas em questão, pode-se evidenciar os pixels das imagens com valores mais altos, que a partir daí serão representados por tons muito claros. No caso dos índices de vegetação, os pesquisadores buscaram desenvolver índices que evidenciam a presença de clorofila nos alvos, o que representa um padrão de maturidade da vegetação e é evidenciado nessa divisão de bandas supracitadas.

Existem vários índices que aplicam essa divisão de bandas citada acima. Porém, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, segundo Meneses (2012), possui a vantagem sobre os demais índices de vegetação por ser mais proporcional à biomassa da vegetação. Ainda segundo esse autor, o NDVI é preferível para fazer comparações ao longo do tempo, como é a proposta desse trabalho, pois é esperado do NDVI uma menor influência das condições atmosféricas.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada utiliza a diferença e soma entre duas bandas do infravermelho próximo e do vermelho (RAFIQUE et al 2016; XU et al 2016; YUAN 2015) como mostrado na Equação 1.

$$NDVI = \frac{IR-R}{IR+R} \quad (1)$$

onde:

IR: é a reflectância espectral registrada na banda referente ao infravermelho próximo;

R = é a reflectância espectral registrada na banda referente ao vermelho.

As informações obtidas através do NDVI são valores que variam entre -1 e 1, onde quanto mais próximo de 1, maior presença de vegetação sadia, ou seja, a presença de clorofila e, quanto mais próximo de -1, menor a presença de clorofila. Royou (2016) aponta que areia ou neve apresentam valores muito baixos de NDVI, como 0,1; arbustos podem apresentar valores moderados de NDVI, de 0,2 até 0,5; e valores altos como 0,6 até 0,9 correspondem a vegetações mais densas, como florestas em seu pico de crescimento.

2.4.2. Temperatura de Superfície

Todos os corpos que apresentam temperatura acima do chamado zero absoluto ou zero Kelvin (-273,15°C) emitem radiação eletromagnética, incluindo a do infravermelho termal (MENESES, 2012). A partir desse princípio, foram desenvolvidos sensores sensível na faixa espectral onde a radiação termal se apresenta, que é de 8,0 nm até 14,00 nm. Segundo Steinke *et al.* (2010) essa é a faixa espectral onde o sensor capta a energia emitida pelos alvos. Entretanto, como os valores captados pelos sensores são valores da radiação emitida pelos alvos, é necessário fazer uma conversão desses valores em valores de temperatura.

Antes da conversão dos valores em temperatura, precisa-se entender dois conceitos (calor e temperatura) para não haver confusão entre eles. Sabe-se que a energia é capacidade de se realizar trabalho, a partir do qual pode-se diferenciar os dois conceitos supracitados. A temperatura é o valor medido sobre o grau de movimentação ou agitação das moléculas em um corpo e o calor é o fluxo de energia entre corpos de temperaturas distintas. O calor sempre se desloca do corpo mais quente para o corpo mais frio e o calor contido em um objeto não só depende de sua temperatura, mas também de sua massa (MENESES, 2012, p. 47 e 48).

Com base nesses conceitos foi proposto um modelo por Malaret et al (1985), onde pode-se usar de fórmulas matemáticas para converter os valores emitidos pelos alvos em temperatura de superfície, sem a necessidade de muitas informações de campo. Essa autora propõe que os números

digitais sejam transformados através do modelo matemático de regressão quadrática, como mostrado na Equação 2 a seguir.

$$T(^{\circ}\text{K}) = 209,831 + \left(0,831\text{DN} - (0,00133\text{DN}^2)\right) \quad (2)$$

onde:

$T(^{\circ}\text{K})$ = temperatura aparente em Kelvins;

DN = número digital de cada pixel.

Como visto acima, o modelo proposto por Malaret (1985) faz a transformação dos ND em temperaturas em graus Kelvins. Para se adaptar ao padrão de temperatura adotado pelo Brasil, que são Graus Celsius, é necessário subtrair na Equação 2 o valor -273,15 para transformar de graus Kelvins para graus Celsius, a fim de obter diretamente da imagem, o valor da temperatura de superfície já em graus Celsius, tal como na Equação 3.

$$T(^{\circ}\text{C}) = \left(0,831\text{DN} - (0,00133\text{DN}^2)\right) - 63,319 \quad (3)$$

2.4.3. Series Temporais

Como visto, existe uma grande complexidade nas formas que o ambiente se apresenta e ainda eventos que podem influenciar na dinâmica ambiental. Para compreender como o ambiente se comporta com o passar dos anos, estudiosos utilizam-se de observações de fenômenos e objetos, para assim tentar compreender melhor o ambiente e suas particularidades. Essas observações são chamadas de séries temporais, que é a realização de um processo estocástico (COELHO JUNIOR et al, 2006; WOOLDRIDGE ,2001), uma série temporal é a realização de um processo estocástico.

Um processo aleatório ou estocástico é uma coleção de variáveis aleatórias ordenadas no tempo (GUJARATI, 2011). Logo, a observação de algum fenômeno é um processo estocástico, como por exemplo, quantas vezes se lança um dardo ao alvo, ou como nesse trabalho, a variação nos níveis de clorofila da vegetação, nas áreas de estudo, representados pelos valores de NDVI.

A partir da análise de como fenômenos ocorrem no tempo, pode-se então fazer previsões de como esses eventos voltarão a acontecer, porém, para isso, é necessário que o processo observado seja estacionário. Gujarat (2011) define que um processo estocástico será chamado

estacionário se a média e a variância forem constantes ao longo do tempo e o valor de covariância entre os dois períodos de tempo depender apenas da distância, do intervalo ou da defasagem entre os dois períodos e não do tempo real ao qual a covariância é computada.

Para uma melhor compreensão das séries temporais, é necessário conhecer outros conceitos que serão vistos, como tendência, sazonalidade e outliers. O conceito de tendência pode ser entendido como a diferença entre a média das medidas e o valor de referência, que indicará o comportamento de uma série ao longo prazo. A sazonalidade pode ser entendida como um padrão, a repetição de um fenômeno relacionado com o espaço de tempo, como por exemplo, o período chuvoso e seco dos anos. Por fim, outliers são observações extremas de algum fenômeno.

Para fazer previsões de eventos, foram criados modelos com base em dados de séries temporais. Existem vários modelos propostos, mas aqui será abordado, especificamente, o modelo Autorregressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA), popularmente conhecido como metodologia Box-Jenkins.

A metodologia Box-Jenkins tem como objetivo, segundo Pokorny (1986), de identificar e estimar modelos estatísticos que podem ser interpretados como tendo sido gerados pelos dados amostrais em questão, onde deve-se admitir que suas características são constantes ao longo do tempo, em períodos passados, presentes e futuros. Essa metodologia considera o número de vezes que a série precisa ser diferenciada para ser estacionária, representado por d , os números de termos autorregressivos representado por p e o número de termos de média móvel representador por q .

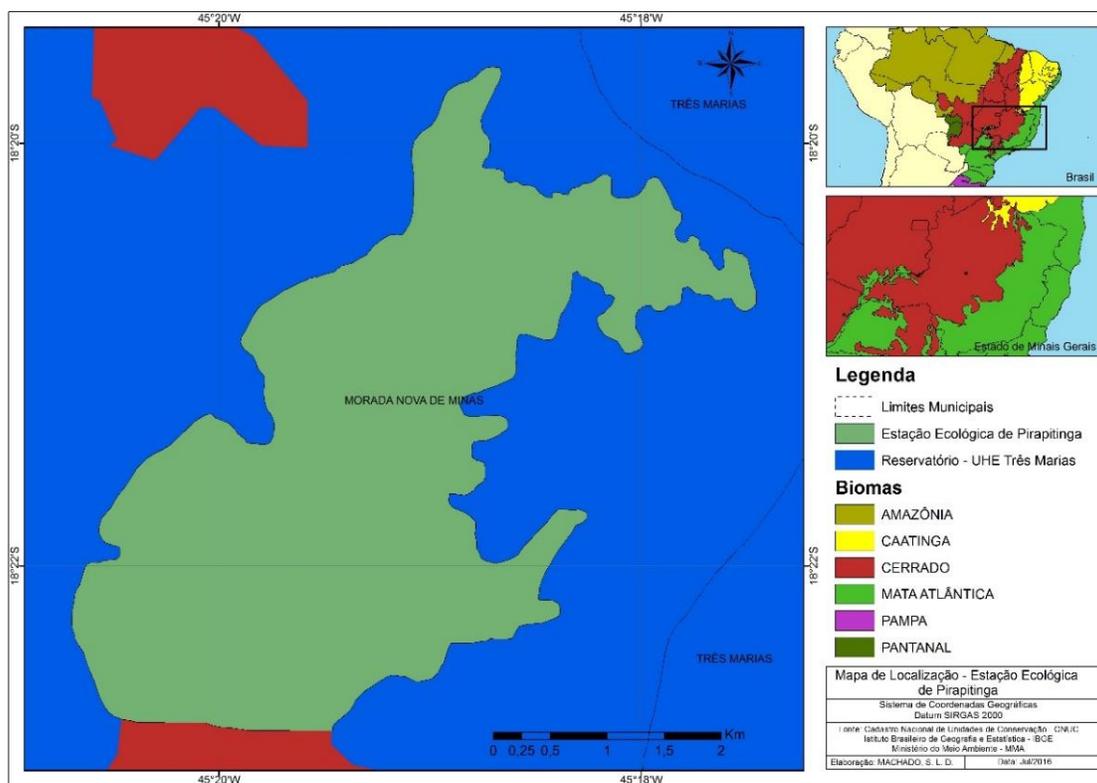
Gujarati (2011) apresenta que a metodologia Box-Jenkins precisa seguir quatro diferentes passos: inicia-se a modelagem pela etapa 1, que consiste na identificação dos valores apropriados de p , d e q ; segue-se então na etapa 2, que é a estimação de parâmetros dos termos autorregressivos e de média móvel do modelo; a etapa 3 consiste na verificação do diagnóstico, que é determinar se o modelo ARIMA selecionado ajusta-se de forma razoável a outro modelo ARIMA; por fim, tem-se a etapa 4, que é a previsão propriamente dita.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. ÁREA DE ESTUDO

A Estação Ecológica de Pirapitinga (EEP) foi criada em 20 de julho de 1987, pelo Decreto 94.656 e conta com uma área de aproximadamente 1.090 ha, segundo seu Plano de Manejo. A Estação Ecológica fica numa ilha artificial no reservatório da Usina Hidrelétrica de Três Marias, na região do Alto Rio São Francisco (Figura 02). O clima da região é definido por Köppen como Aw, ou seja, um clima quente e úmido, com estação seca de inverno e vegetação de Cerrado. Está localizada no município de Morada Nova de Minas, geograficamente entre as coordenadas [18°20'S a 18°23'S] e [45°17'W a 45°20'W], com altitudes que variam entre 560m até 630m.

Figura 02: Localização da Estação Ecológica de Pirapitinga



Fonte: Organização própria.

3.2. MATERIAL USADO

Para a realização desse trabalho foram utilizadas imagens orbitais do sensor TM, acoplado no satélite Landsat 5, referentes aos anos de 1984 até 2010. Foram coletadas uma cena por mês, quando possível. Essas imagens possuem resolução espacial de 30 metros. Foram utilizadas as

bandas 2 (0,52 a 0,60 μm – verde), 3 (0,63 a 0,69 μm – vermelho), 4 (0,76 a 0,90 μm - infravermelho próximo) e 6 (10,4 a 12,5 μm - infravermelho termal), sendo a banda 6, (termal) com resolução espacial de 120 metros. A banda 2 está localizada na faixa azul do espectro eletromagnético; a banda 3 na faixa do vermelho e a banda 4, na faixa do infravermelho próximo. A imagem TM/Landsat 5, onde está localizada a Estação Ecológica de Pirapitinga, está situada na órbita 219 e ponto 073. Todas as imagens são disponibilizadas pelo site oficial do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Os procedimentos de recorte, registro e elaboração dos mapas temáticos foram feitos com uso do software ArcGIS 10. O cálculo dos valores de NDVI e de temperatura de superfície foi feito utilizando o software ENVI 5.0. Ambos os softwares (ArcGIS e ENVI) são patrimônios da UFU. Por fim, para processamento e análise dos dados extraídos das imagens orbitais, em séries temporais, foi utilizado o software Gretl, que é um software livre.

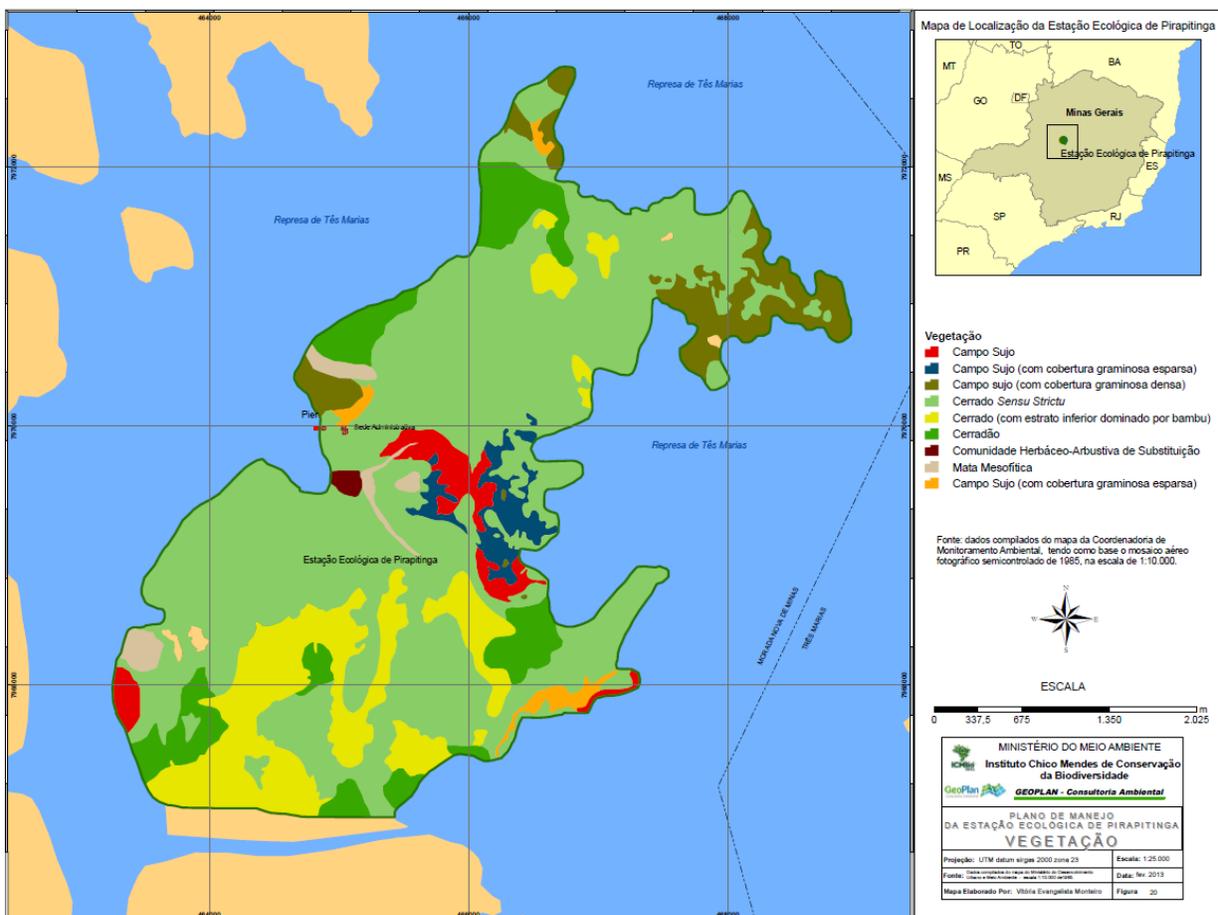
3.3. MÉTODO

3.3.1. Preparação dos Dados

Após a aquisição no site do INPE, as imagens foram adicionadas no programa ArcGIS 10 para recorte de um retângulo que contém a área de estudo. O principal objetivo do recorte das imagens é diminuir o espaço de armazenamento e facilitar o processamento. Após o procedimento de recorte, ainda no mesmo software, todas as cenas foram registradas, tendo por base a imagem do ano de 1984. Na sequência, todas as imagens foram salvas e ordenadas por data, órbita e ponto, tendo como resultado uma série de imagens.

Para a identificação e escolha das áreas das fitofisionomias do Cerrado foi utilizado como base o mapa do Plano de Manejo da Estação Ecológica de Pirapitinga, representado na Figura 03.

Figura 03 - Fitofisionomias da Estação Ecológica de Pirapitinga



Fonte: Plano de Manejo E. E. de Pirapitinga.

Devido ao problema com nuvens e o tamanho das áreas das fitofisionomias presentes na área de estudo, foram escolhidas apenas aquelas de maior porte, que foram: “Cerrado Stricto Sensu”, “Cerradão” e “Mata Mesofítica”. Em seguida, foram criadas séries temporais de NDVI e Temperatura de Superfície correspondentes as três fitofisionomias escolhidas.

3.3.2. Série Temporal de NDVI

O cálculo do NDVI foi realizado no software ENVI 5.0, com base na Equação 1, usando as bandas 3 e 4 do Landsat 5/TM, localizadas nas faixas espectrais referentes ao vermelho (R) e infravermelho próximo (IR), no espectro eletromagnético, respectivamente. Esse cálculo foi realizado com todas as imagens, gerando a série temporal correspondente ao intervalo de tempo estudado (1984-2010).

Depois de calculado o NDVI, iniciou-se a coleta das amostras para geração da série temporal correspondente ao índice. Nesse processo, buscou-se coletar dados sempre em áreas com

pixels mais puros, para evitar interferência de outra feição, como o solo. Contudo, em imagens de alguns meses, a presença de nuvens impossibilitou que dados da mesma área fossem colhidos com qualidade, e para solucionar o problema de ausência de dados, optou-se por interpolar os dados da série, usando o método de interpolação por krigagem. A escolha pela Krigagem deve-se à qualidade do método já comprovada em vários estudos presentes na literatura (JAKOB 2002; HAIR et al. 2005).

A krigagem é um método de interpolação de dados que faz uso de funções matemáticas que acrescentam pesos maiores em posições mais próximas as amostras e pesos menores para as posições que se encontram mais distantes dos pontos amostrados, gerando assim novos pontos interpolados baseados em combinações lineares de dados (JAKOB, 2002).

Finalizado o processo de amostragem e interpolação, a série temporal NDVI foi armazenada e ordenada como mostrado no Quadro 01. Essa organização é necessária para entrada no software de série temporal utilizado, o Gretl.

Quadro 01 - Organização da série NDVI

Tempo/ano	Meses	NDVI
1	1	0,612853
1	2	0,616188
1	3	
1	4	0,627898
1	5	0,619004
1	6	0,589105
1	7	0,569634
1	8	
1	9	0,497864
1	10	0,527800
1	11	
1	12	
2	1	
2	2	0,586847
2	3	
2	4	0,636142
2	5	
2	6	0,573410
2	7	0,355634
2	8	0,645541
2	9	0,483308

2	10	
2	11	0,649161
2	12	0,611071

Fonte: Organização própria.

Ressalta-se que foram criadas três séries temporais de NDVI, sendo uma para cada fitofisionomia estudada.

3.3.3. Série Temporal de Temperatura de Superfície

Para o cálculo da temperatura de superfície foi utilizado também o software ENVI 5.0, usando a função matemática de bandas “Math bands”. No cálculo dessa variável foram utilizadas as imagens da banda termal (banda 6 Landsat5/TM), de acordo com o modelo proposto por Malaret *et al.* (1985), apresentado na Equação 3. Para o cálculo, essa equação é descrita no campo “Math bands” e a única variável do modelo é referida à banda 6/TM. Como dito, esse modelo transforma os números digitais da banda termal em valores de temperatura de superfície. Vale lembrar que a temperatura aqui tratada é a temperatura do solo, então pode apresentar valores mais altos ou mais baixos do que a temperatura do ambiente, dependendo das características de cada tipo de vegetação ou de solo da área analisada. Aqui também foram criadas três séries temporais, sendo uma para cada fitofisionomia. Igualmente ao caso das séries NDVI, foi necessário interpolar dados referentes a alguns meses que tiveram problemas sobretudo com cobertura por nuvens. A organização das três séries temporais de Temperatura de Superfície foi feita da mesma forma exemplificada no Quadro 01.

3.3.4. Análises e Testes das Séries Temporais

O processamento das séries foi realizado utilizando o software estatístico Gretl que apresenta os resultados em forma de tabelas e gráficos, dependo da escolha do operador. Em um primeiro momento, o passo a ser feito é analisar visualmente os gráficos gerados, para observar e tentar identificar a presença de *outliers* e se a série apresenta ou não tendência. Findada essa fase, aplica-se testes em todas as séries, utilizando o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para verificar se existe ou não tendência. Os testes utilizados nessa pesquisa são: tendência simples, tendência logarítmica e tendência quadrática. A análise da tendência é feita com base nos p-Valores resultados dos testes mencionados, onde o p-Valor indicará o ajustamento em intervalos

de confiança. p-Valores $< 0,01$, $< 0,05$ e $< 0,10$ indicam se o modelo está bem ajustado em intervalo de confiança de 1%, 5% e 10%, respectivamente.

Verificada a tendência, inicia-se o teste de sazonalidade. A análise de sazonalidade tem como primeiro passo a observação dos periodogramas gerados, a fim de identificar se as séries apresentam ou não sazonalidade. Esse parâmetro é indicado por meio da ocorrência de picos individualizados no periodograma. Caso exista e seja necessário, as séries devem ser suavizadas por meio da aplicação de diferenças sazonais.

O próximo passo é a análise da estacionariedade das séries, que é comumente verificada com a análise da existência ou não de raiz unitária na série. Essa análise é feita com base no teste de hipótese, onde para a hipótese nula H_0 , a série testada possui raiz unitária e é não-estacionária e, para a hipótese alternativa H_1 , a série não possui raiz unitária e, conseqüentemente, é estacionária. Um método já consagrado na literatura para teste da estacionariedade é o ADF (Aumentado de Dickey-Fuller), que é um teste autoregressivo e modelado pela Equação 4. Nesse teste, para aceitar H_0 o valor de p-Valor deve ser maior que os níveis usuais de significância (1% ou 0,01, 5% ou 0,05 ou 10% ou 0,10).

$$\Delta y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta y_{t-1} + \sum_1^m \alpha_i \Delta y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4)$$

onde:

Δy_t é a variável de interesse;

β_1 é o intercepto, também denominado de *drift* da série;

β_2 é o coeficiente de uma tendência temporal;

δ é o coeficiente de presença de raiz unitária;

m é o número de defasagens tomadas na série;

ε_t é o erro estocástico; e

$\sum_1^m \alpha_i \Delta y_{t-1}$ operador de defasagens.

O teste ADF (Aumentado de Dickey-Fuller) é aplicado e se o resultado mostra que a série é estacionária, deve-se aplicar defasagens na série e testar novamente com o ADF se a série defasada é não-estacionária (aceita H_0).

Um método robusto para cálculo da previsão de séries é o SARIMA, com o modelo X-12-ARIMA (Máxima Verossimilhança Exata, significativo nos níveis usuais de significância (1% ou 0,01, 5% ou 0,05 e 10% ou 0,10). Esse método foi utilizado nesse estudo e previsão das séries foi feita em duas etapas: uma para o ano de 2010, ano que possui dados reais, a fim de analisar os erros da previsão e outra para o ano de 2011, ano sem observações, para análise do comportamento da previsão.

Por fim, outro resultado que pode ser realizado com séries temporais é a cointegração entre séries. Um método bem conhecido para essa tarefa é o de Engle Granger, que consiste na aplicação do teste ADF nas séries individualizadas e a consequente verificação da existência de raiz unitária. Após esse processo, o teste de regressão de cointegração pelo método MQO e então o teste ADF é aplicado nos resíduos para saber se a série dos resíduos é ou não estacionária. De acordo com esse teste, a relação de cointegração entre duas variáveis/séries ocorre se e somente se:

- a) a hipótese de raiz unitária não é rejeitada para as variáveis individuais;
- b) a hipótese de raiz unitária é rejeitada para os resíduos da regressão de cointegração.

4. RESULTADOS

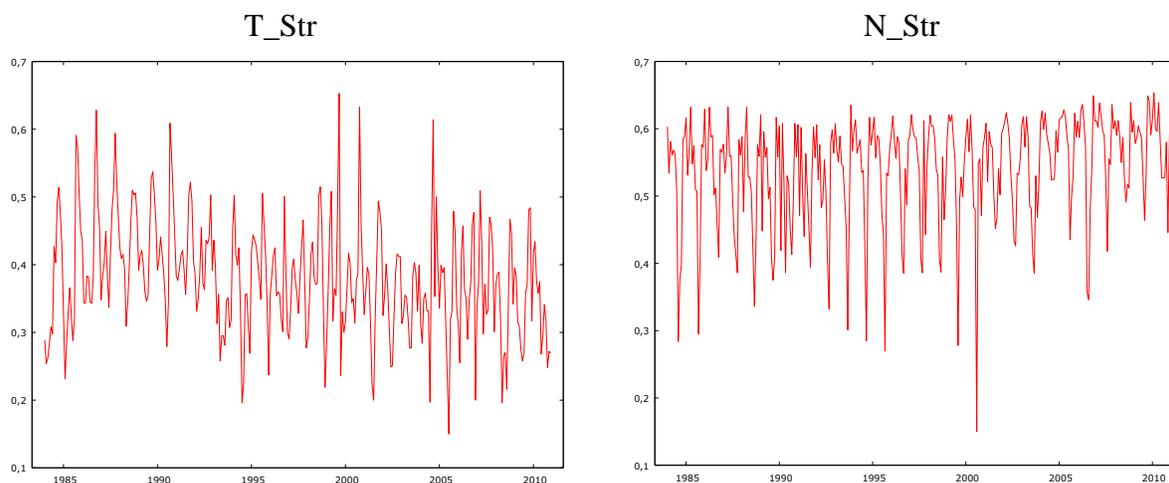
Nessa seção foram analisados os resultados das séries temporais de NDVI e temperatura de superfície, obtidos nos três experimentos: 1) fitofisionomia *Stricto Sensu*; 2) fitofisionomia *Mesofítica* e 3) fitofisionomia *Cerradão*.

4.1. FITOFISIONOMIA STRICTO SENSU

4.1.1. Análise de Tendência

Na Figura 4 são apresentados os gráficos das séries de tempo: valores de Temperatura de superfície (T_Str) e valores de NDVI (N_Str), correspondentes à fitofisionomia *Stricto Sensu*. A partir de uma análise visual, nota-se que não há a presença de *outliers*. No gráfico abaixo não fica claro, visualmente, que a série N_Str apresenta, ou não, tendência, o que demanda a aplicação de um teste de identificação de tendência.

Figura 04 – Medidas de Temperatura de Superfície de NDVI referentes à fitofisionomia *Stricto Sensu*



Fonte: Organização própria.

Foram executados três testes: tendência simples, tendência logarítmica e tendência quadrática. O primeiro teste (tendência simples), realizado com a adição de uma variável de tempo (*time*), mostrou resultado positivo para a presença de tendência, sendo significativo a 1%. Nesse teste foi utilizado o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), usando as observações

mensais de 01/1984 a 12/2010, totalizando uma série de 324 observações. Nesse caso, a variável dependente é a temperatura de superfície da fitofisionomia do Cerrado *Stricto Sensu* (T_Str).

A variável dependente (T_Str) apresentou o índice R-quadrado ajustado igual a 0,061378 e P-valor (para $F=1,322$) igual a $3,80e-06$, o que significa que o modelo está bem ajustado. Os dois valores de p-Valor apresentados na Tabela 01, menores que 0,01, confirmam a presença de tendência na série dessa variável (1%). Os valores do modelo efetivos e ajustados podem ser visualizados na Figura 05.

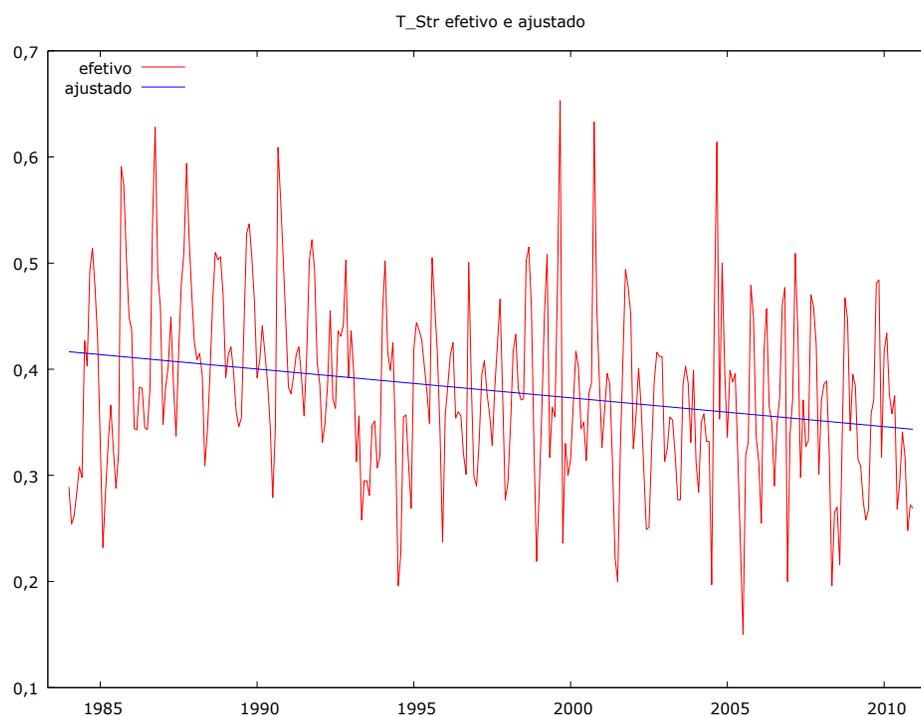
Tabela 01 – Resultados do teste de tendência simples para T_Str.

	Coefficiente	Erro Padrão	Razão-t	p-Valor
Constante	0,416724	0,009019	46,200	3,97e-144 ***
Tempo/tendência	-0,000226	4,81e-05	-4,703	3,80e-06 ***

Fonte: Organização própria.

*** indica que o resultado é significativo a 1%.

Figura 05 – Valores do modelo efetivo e ajustado para T_Str



Fonte: Organização própria.

Por outro lado, ao avaliar o teste de tendência quadrática, os resultados indicaram que não há tendência a um nível de significância de 1% (Tabela 02). Nesse teste, também foi utilizado o MQO e as mesmas 324 observações, de 01/1984 a 12/2010.

Tabela 02 – Resultados do teste de tendência quadrática para T_Str

	Coefficiente	Erro Padrão	Razão-t	p-Valor
Constante	0,408927	0,013590	30,090	1,93e-095 ***
Tempo/tendência	-8,27e-05	1,93e-04	-0,428	0,668
Tendência quadrática	-4,41e-07	5,75e-07	-0,767	0,443

Fonte: Organização própria.

*** indica que o resultado é significativo a 1%.

A variável dependente (T_Str) apresentou o índice R-quadrado ajustado igual a 0,060178 e p-valor (para F=2,321) igual a 1,70e-05, indicando um bom ajuste do modelo. Os altos valores (>0,01) de p-Valor (Tabela x1) para “Tendência” e “Tendência Quadrática” confirmam que não há tendência na série dessa variável.

O último teste, Tendência Logaritmica, apontou que há sim a presença de tendência a um nível de significância de 1% (Tabela 03). No teste foi utilizado o MQO e as 324 observações do período em análise.

Tabela 03 – Resultados do teste de tendência logarítmica para T_Str

	Coefficiente	Erro Padrão	Razão-t	p-Valor
Constante	0,740238	0,003585	206,400	0,000 ***
Tendência Logarítmica	0,362978	0,003521	103,100	1,290e-248 ***

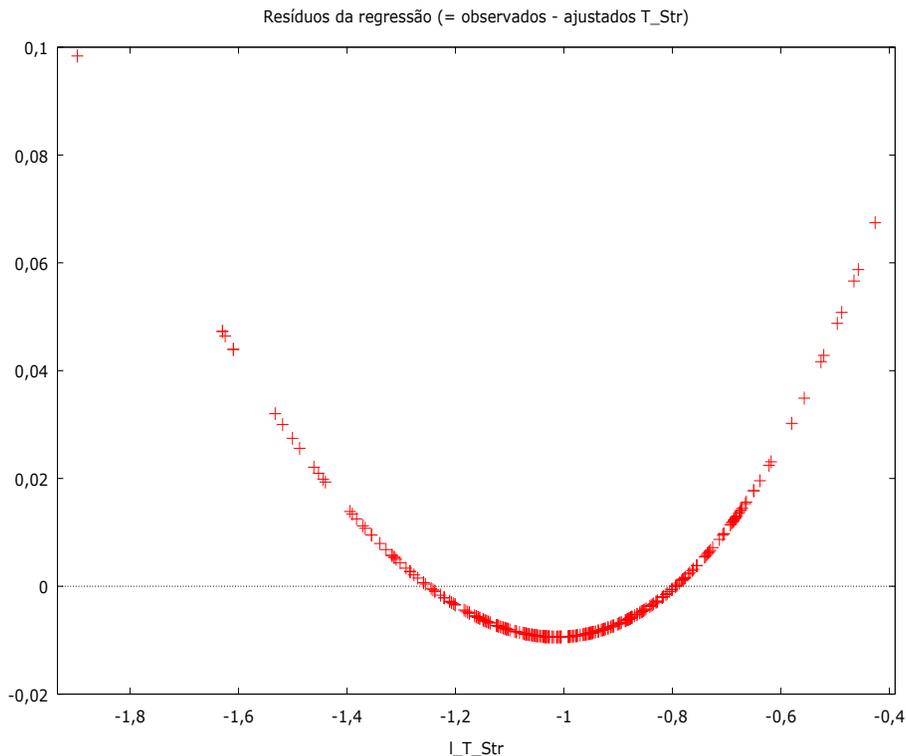
Fonte: Organização própria.

*** indica que o resultado é significativo a 1%.

A variável dependente (T_Str) apresentou o índice R-quadrado ajustado igual a 0,970486 e P-valor (para F=1,322) igual a 1,300e-248, indicando um bom ajuste do modelo. O baixo valor (>0,01) de p-Valor (Tabela 03) para “Tendência” confirmou a existência de tendência na série dessa variável.

Os resíduos da regressão, obtida a partir do modelo logarítmica, podem ser observados na Figura 06. Nota-se que são baixos valores de resíduos, menores que 0,07.

Figura 06 – Resíduos da regressão (valores observados – valores ajustados de T_Str)



Fonte: Organização própria.

O mesmo procedimento, usando MQO e 324 observações coletadas mensalmente no período de 01/1984 a 12/2010, foi adotado para a série NDVI, calculada na fitofisionomia *Stricto Sensu* (N_Str). Os resultados apontaram que há a presença de tendência no modelo com a variável (*time*/tendência), como mostrado na Tabela 04.

Tabela 04 – Resultados do teste de tendência simples, quadrática e logarítmica para N_Str

	Coefficiente	Erro Padrão	Razão-t	p-Valor
Constante	0,510120	0,008717	58,520	1,190e-173 ***
Tempo/Tendência	1,776e-04	4,649e-05	3,820	2,000e-04 ***
Constante	0,527219	0,013084	40,290	1,340e-127 ***
Tendência Quadrática	9,68332e-07	5,53999e-07	1,748	0,081 *
Constante	0,821396	0,002898	283,400	0,000 ***
Tendência Logarítmica	0,447097	0,004420	101,100	4,580e-246 ***

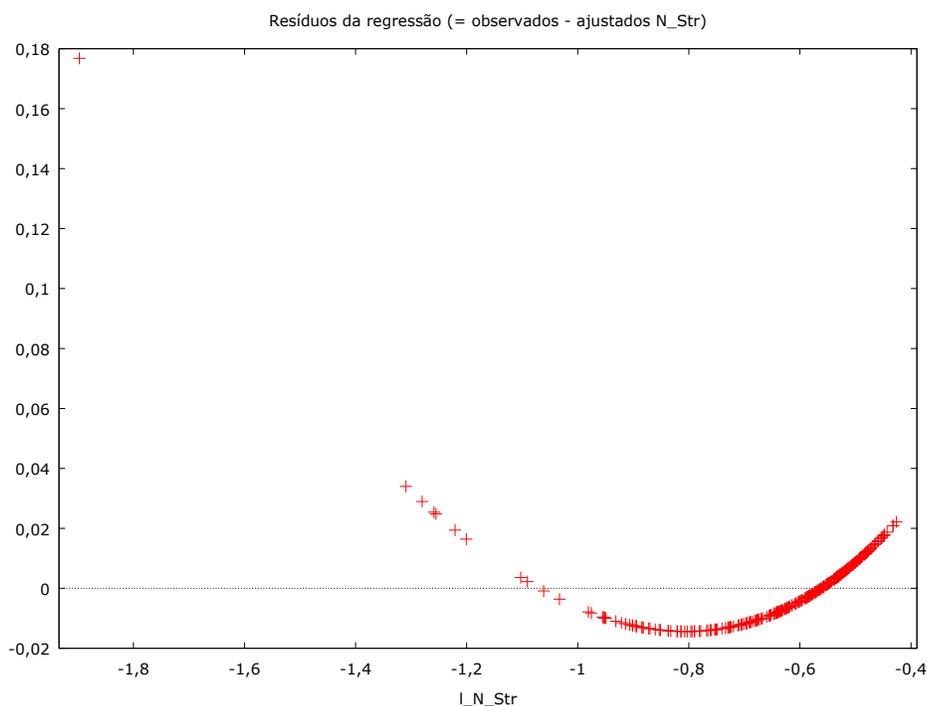
Fonte: Organização própria.

*** indica que o resultado é significativo a 1% e * significativo a 10%.

A variável dependente (N_Str) apresentou o índice R-quadrado ajustado igual a 0,040387, 0,046472 e 0,969390, respectivamente, para tendência simples, quadrática e Logarítmica. Os valores de p-valor (para F=1,322) 0,000160, (para F=2,321) 0,000178 e (para F=1,322) 4,600e-246, menores que 0,01, confirmam a existência de tendência na série dessa variável.

Os resíduos da regressão, obtida a partir do modelo logarítmica, podem ser observados na Figura 07. Nota-se que são baixos valores de resíduos, menores que 0,04.

Figura 07 – Resíduos da regressão (valores observados – valores ajustados de N_Str)

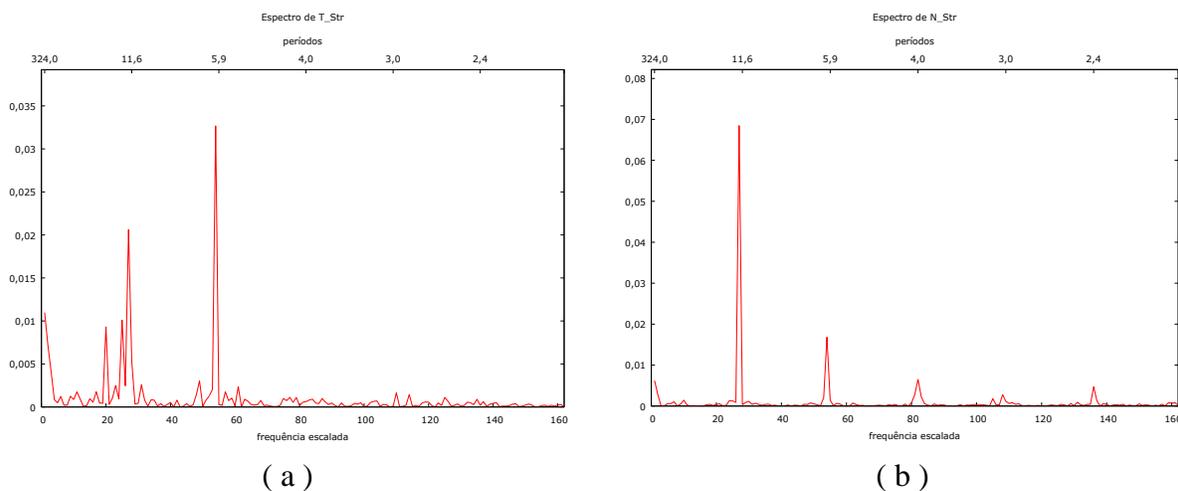


Fonte: Organização própria.

4.1.2. Análise de Sazonalidade

Inicialmente, foi realizada uma análise para identificar a presença do componente sazonal. Para tanto, procedeu-se a análise dos periodogramas das séries de Temperatura (Figura 08a) e NDVI (Figura 08b) para identificar se essas séries apresentam ou não sazonalidade.

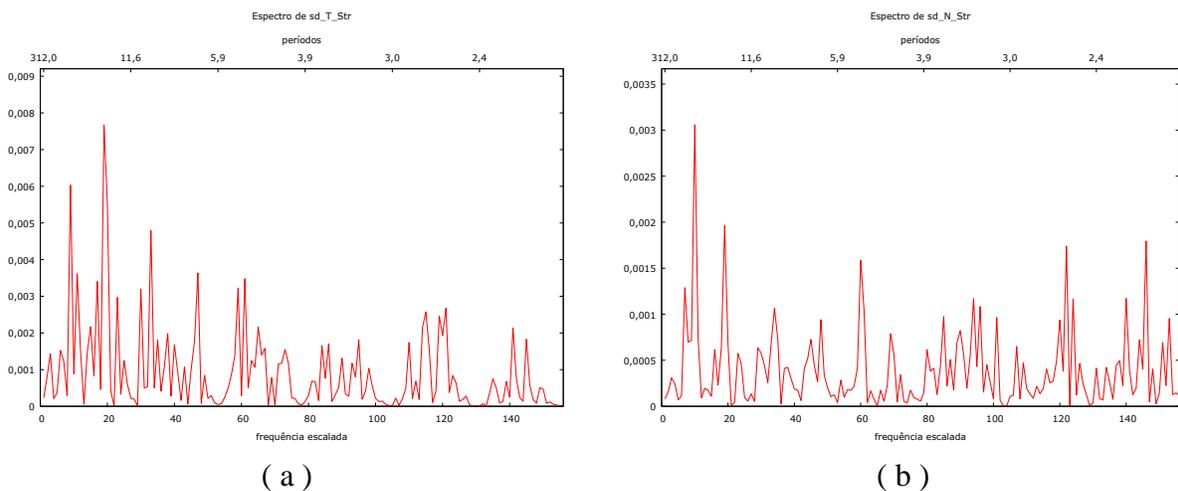
Figura 08 – Periodogramas das séries: a) T_Str e b) N_Str



Fonte: Organização própria

Pode-se observar nos dois periodogramas que ocorreram picos individualizados, mostrando que há um comportamento sazonal. Para modelar as sazonalidades dessas duas séries, (T_Str e N_Str) foi aplicada uma diferença sazonal em cada série, tornando-as suavizadas, como mostrado na Figura 09a (T_Str) e Figura 09b (N_Str).

Figura 09 – Periodogramas suavizados das séries: a) T_Str e b) N_Str



Fonte: Organização própria.

Após a suavização das séries, com uma defasagem, iniciou-se a análise da estacionariedade.

4.1.3. Análise de Estacionariedade

A estacionariedade pode ser verificada pela análise da existência ou não de raiz unitária na série. A hipótese nula H_0 , nesse caso, é de que a série testada possui raiz unitária e, conseqüentemente, é não-estacionária. Por outro lado, sem raiz unitária (rejeita a hipótese nula H_0), a série é classificada como estacionária. Para aceitar H_0 , o valor de p-Valor deve ser maior que os níveis usuais de significância (1% ou 0,01, 5% ou 0,05 e 10% ou 0,10).

Ao aplicar o teste ADF (Aumentado de Dickey-Fuller) nas duas séries, observou-se que a hipótese nula (H_0), de que as séries testadas possuem raízes unitárias (não estacionária), é aceita, mostrando que ambas possuem raízes unitárias e são não-estacionárias, pois apresentaram valores de p-Valor assintótico iguais a 0,2475 (N_Str) e 0,1812 (T_Str), maiores que os níveis de significância usuais.

Após a aplicação de uma única defasagem (322 observações), em ambas as séries, e testado o ADF novamente, verificou-se que as duas séries se tornaram estacionárias, devido aos baixos valores de “p-Valor assintótico”, iguais a 4,644e-036 e 3,735e-033, respectivamente, valores menores que os níveis de significância usuais.

4.1.4. Aplicação do Modelo SARIMA para Previsão das Séries

Dado que as duas séries precisaram de uma defasagem, para se tornarem estacionárias e para tirar suas sazonalidades, foi possível aplicar o modelo SARIMA, para estimativa da previsão dessas séries.

4.1.4.1. Análise do modelo SARIMA (1, 1, 1 x 0, 1, 0) com a série T_Str

Tendo como variável dependente a temperatura de superfície na fitofisionomia *stricto sensu* (T_Str) e, usando o modelo X-12-ARIMA (Máxima verossimilhança exata) com as 324 observações (01/1984 a 12/2010), foram calculados os seguintes coeficientes (Tabela 05).

Tabela 05 – Ajuste do modelo X-12-ARIMA com a série T_Str

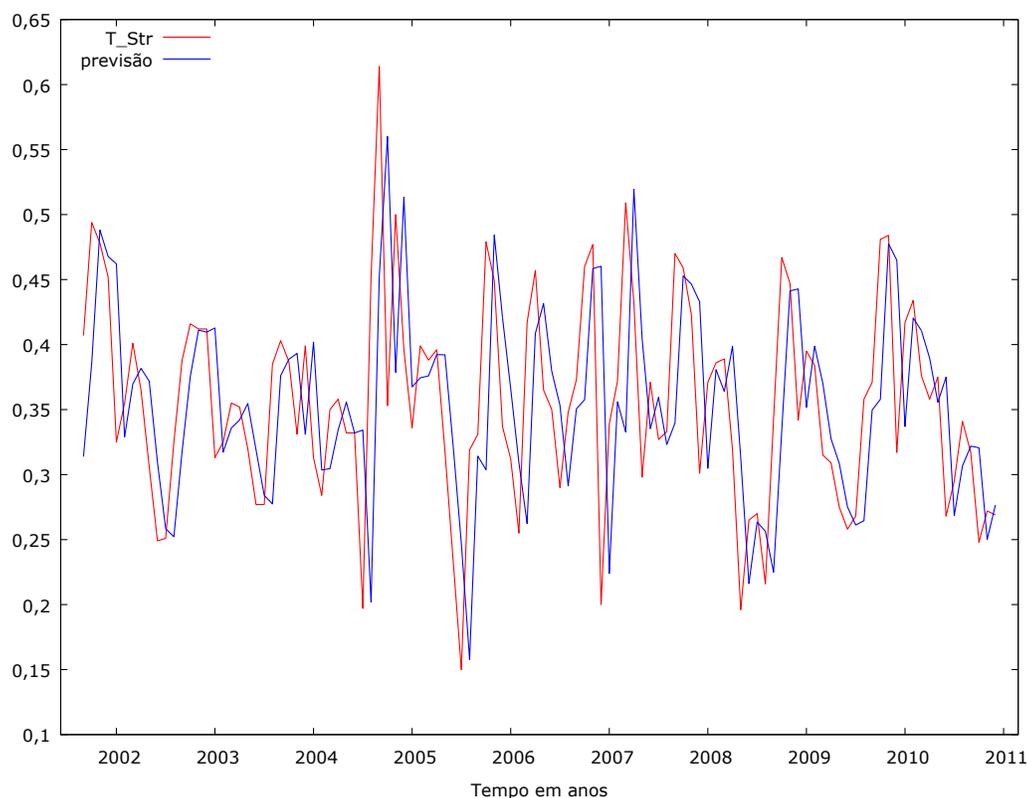
	Coefficiente	Erro Padrão	z	p-Valor
Constante	0,379507	0,007538	50,340	0,0000 ***
π_1	0,341628	0,089707	3,808	0,0001 ***
θ_1	0,296590	0,090909	3,262	0,0011 ***

Fonte: Organização própria.

*** indica que o resultado é significativo a 1%.

Os baixos valores de p-Valor apresentados na Tabela 05, mostram que o modelo X-12-ARIMA é uma escolha acertada para estudo do comportamento da série T_Str. Para comprovar essa afirmativa, foi realizada uma previsão para o ano de 2010, na série T_Str e comparados os resultados com a observação do mesmo ano. Como estatísticas de avaliação dessa previsão podem ser citados os erros: erro médio (-0,024896), erro quadrático médio (0,003240) e o erro absoluto médio (0,043638). Os gráficos da série original e previstos são ilustrados na Figura 10.

Figura 10 – Previsão da série T_Str para o ano 2010



Fonte: Organização própria.

Uma vez aceito o modelo resultante do “X-12-ARIMA” é possível estimar os valores de previsão da temperatura de superfície na fitofisionomia *stricto sensu* (T_Str), para o ano de 2011 (além da série original), em um intervalo de confiança pré-definido, como mostra o Quadro 02.

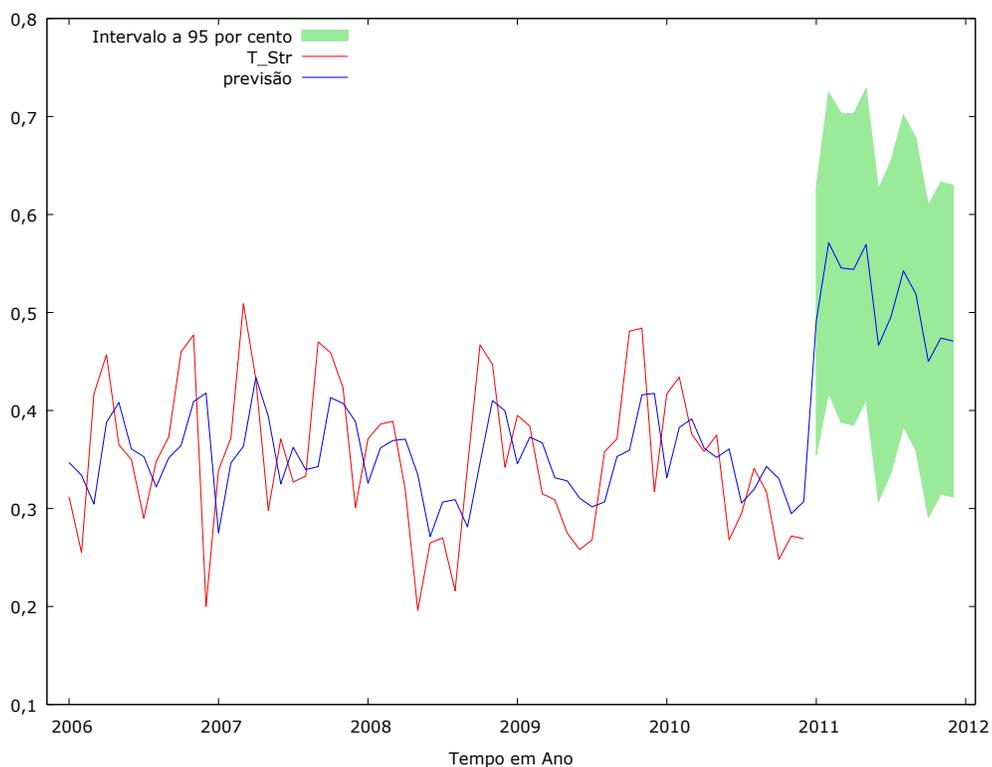
Quadro 02 – Dados de previsão da série T_Str

Ano/Mês	Previsão	Erro Padrão	Intervalo a 95%	
2011/01	0,631576	0,0690569	0,496227	0,766925
2011/02	0,757162	0,0819227	0,596597	0,917728
2011/03	0,736258	0,0832948	0,573003	0,899513
2011/04	0,730931	0,0834535	0,567365	0,894497
2011/05	0,752261	0,0834720	0,588659	0,915863
2011/06	0,646740	0,0834742	0,483134	0,810346
2011/07	0,674245	0,0834744	0,510638	0,837852
2011/08	0,720418	0,0834744	0,556811	0,884025
2011/09	0,696477	0,0834744	0,532870	0,860084
2011/10	0,627497	0,0834744	0,463890	0,791104
2011/11	0,651504	0,0834744	0,487897	0,815111

Fonte: Organização própria.

Os valores do erro padrão apresentados no Quadro 02 apontam para uma previsão acertada, dados os baixos valores, menores que 0,084. O gráfico da previsão pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 – Previsão da série T_Str para o ano 2011



Fonte: Organização própria.

4.1.4.2. Análise do modelo SARIMA com a Série N_Str

A análise da série dos valores de NDVI de área com a fitofisionomia *stricto sensu* (N_Str) foi realizada similarmente à análise feita com a série T_Str, mostrada na seção anterior. Dessa forma, foi utilizado o modelo SARIMA, usando as 324 observações do período de 1984/02 a 2010/12, sendo estimado pelo modelo X-12-ARIMA (máxima verossimilhança exata). O modelo gerado pode ser visto na Tabela 06.

Tabela 06 – Ajuste do modelo X-12-ARIMA com a série N_Str

	Coefficiente	Erro Padrão	z	p-Valor
Constante	0,000174	7,320e-05	2,387	0,017 **
π_1	0,430250	0,051331	8,382	5,210e-017 ***
θ_1	-0,999982	0,016633	-60,120	0,000 ***

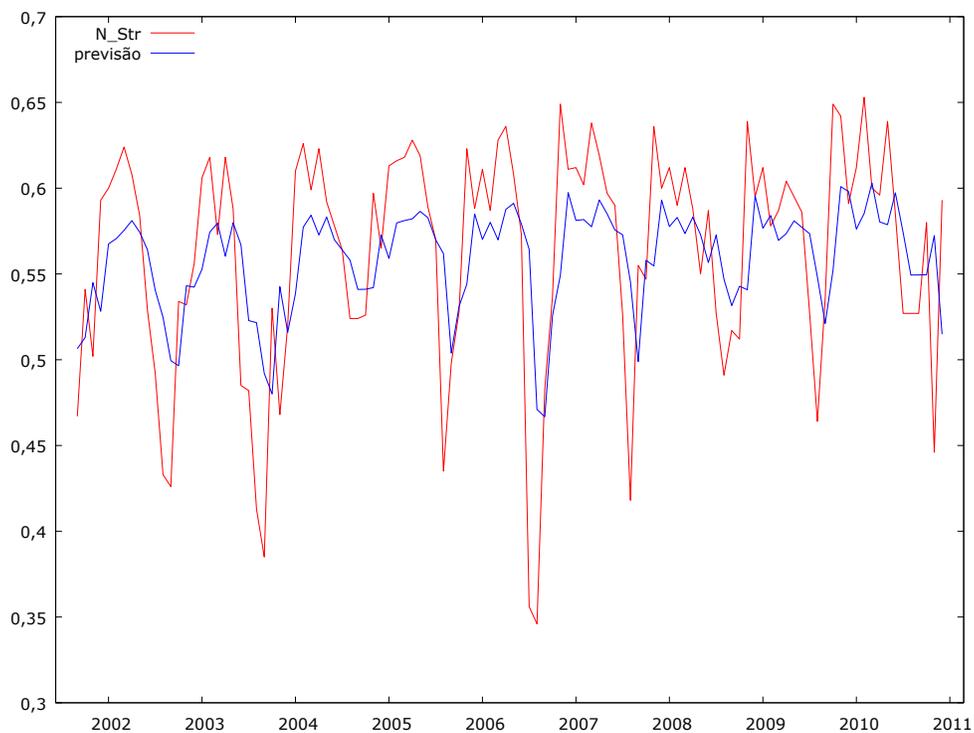
Fonte: Organização própria.

*** indica que o resultado é significativo a 1% e ** significativo a 5%.

Embora tenha apresentado um valor (constante) significativo a 5%, os baixos valores de p-Valor mostram que o modelo X-12-ARIMA também é uma escolha acertada para estudo do comportamento da série N_Str.

Foi realizada uma previsão para o ano de 2010, na série N_Str, para fins de comparação com a observação de NDVI do mesmo ano. Como estatísticas de avaliação dessa previsão podem ser citados os erros: erro médio (0,0045271), erro quadrático médio (0,0030127) e o erro absoluto médio (0,043484). Os gráficos com os valores da série original e valores previstos são ilustrados na Figura 12.

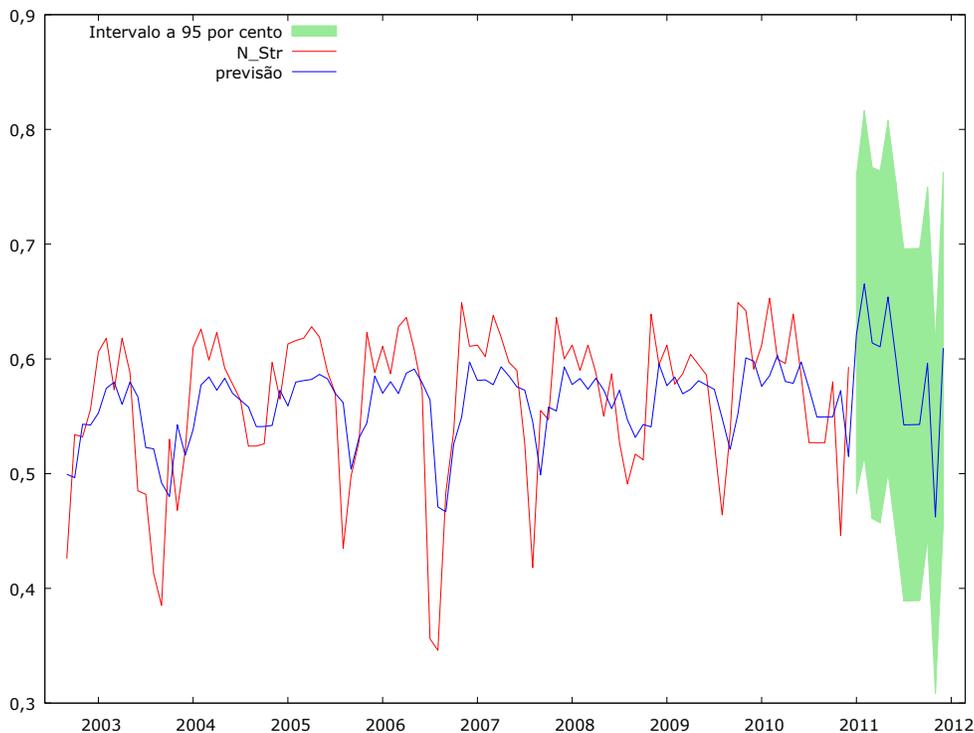
Figura 12 – Previsão da série N_Str para o ano 2010.



Fonte: Organização própria.

Dados os baixos valores de erros na previsão com o modelo resultante do “X-12-ARIMA” foram estimados os valores de previsão da série de NDVI medidos na fitofisionomia *stricto sensu* (N_Str), para o ano de 2011 (além da série original), em um intervalo de confiança 95% ($z[0,025] = 1,96$). Os baixos valores de erro padrão ($<0,079$) apontam uma previsão acertada, como ilustrado no gráfico da Figura 13.

Figura 13 – Previsão da série N_Str para o ano 2011



Fonte: Organização própria.

4.1.5. Cointegração Entre as Séries T_Str e N_Str

O teste de cointegração entre as séries T_Str (dependente) e N_Str (independente) foi realizado pelo método de Engle Granger. Primeiramente, foi realizado o teste entre o par: T_Str x N_Str. Como já apresentado em seções anteriores, em ambas as séries (T_Str e N_Str) foi aplicado o teste ADF, comprovando a existência de raiz unitária (p-Valor igual a 0,2475 e 0,1812, respectivamente). Contudo, após uma defasagem e uma nova aplicação do teste ADF, comprovou-se que as duas séries se tornaram estacionárias (p-Valor igual a 4,644e-036 e 3,735e-033, respectivamente), condição necessária para aplicação do teste de cointegração. O baixo valor de R^2 Ajustado (0,023891) demonstra que a temperatura de superfície não tem um grande grau de explicação sobre a variação do NDVI.

A regressão de cointegração foi realizada pelo método MQO, usando as 324 observações coletadas no período (1984/01 a 2010/12), tendo como variável dependente a série T_Str. Dentro desse processo, no teste da raiz unitária dos resíduos, foi utilizado o teste ADF, encontrando um p-Valor igual a 2,125e-020, o que significa que a série dos resíduos é estacionária.

Uma relação de cointegração entre duas variáveis/séries ocorre se e somente se: a) a hipótese de raiz unitária não é rejeitada para as variáveis individuais e, b) a hipótese de raiz unitária

é rejeitada para os resíduos da regressão de cointegração. No caso apresentado aqui, o critério (a) não é atendido, uma vez que a hipótese de raiz unitária é rejeitada, indicando que as duas séries individuais são estacionárias. Assim, conclui-se que não há cointegração entre as variáveis: T_Str x N_Str.

Analogamente, foi realizado o teste entre o par: N_Str x T_Str. Já foi mostrado que com uma defasagem essas duas séries tornaram-se estacionárias, permitindo assim, a aplicação da cointegração. Ao aplicar regressão de cointegração, usando o MQO sobre as 324 observações mensais (de 1984/01 a 2010/12), e tendo como variável dependente a N_Str, obteve-se os seguintes parâmetros apresentados na Tabela 07.

Tabela 07 – Modelo ajustado pela regressão de cointegração

	Coefficiente	Erro Padrão	z	p-Valor
Constante	0,598561	0,020440	29,280	8,68e-093 ***
T_Str	-0,156805	0,052544	-2,984	0,0031 ***

Fonte: Organização própria.

*** indica que o resultado é significativo a 1% e ** significativo a 5%.

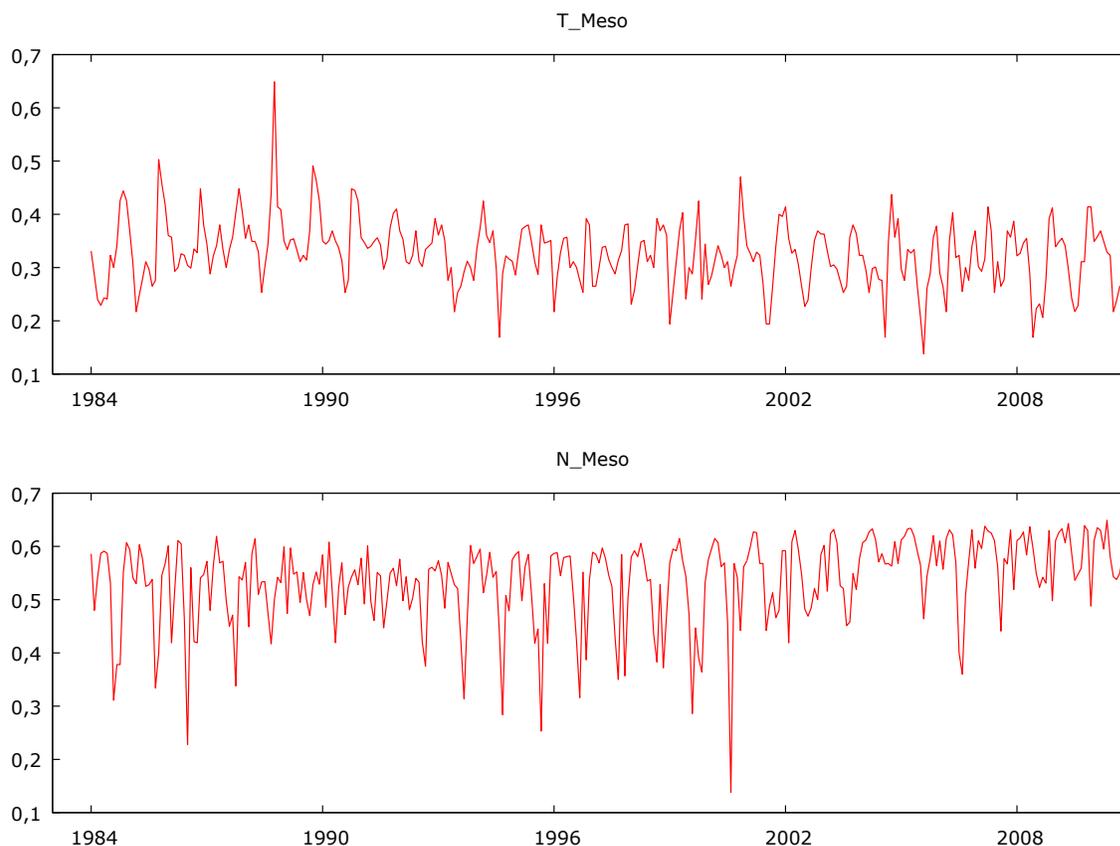
No teste para raiz unitária, nos resíduos da cointegração, foi aplicado o ADF com uma defasagem (restando 312 observações), obteve-se um p-Valor assintótico igual a 0,4765, o que leva ao aceite da hipótese nula H_0 , apontando que existe uma raiz unitária, portanto é uma série não-estacionária. Tendo em vista os critérios a) e b), que mostram evidência de uma relação de cointegração, o b) falha nesse caso, uma vez que a hipótese de raiz unitária é aceita para os resíduos da regressão de cointegração.

4.2. MATA MESOFÍTICA

4.2.1. Análise de Tendência

Na Figura 14 são apresentados os gráficos das séries temporais: valores de Temperatura de Superfície (T_Meso) e valores de NDVI (N_Meso), correspondentes à fitofisionomia *Mata Mesofítica*. Visualmente, no gráfico abaixo, nota-se que não há a presença de *outliers* e não fica claro se a série N_Meso apresenta, ou não, tendência, o que demanda a aplicação de um teste de identificação de tendência.

Figura 14 – Medidas de Temperatura de Superfície e de NDVI (no período analisado) referentes à fitofisionomia *Mata Mesofítica*



Fonte: Organização própria.

Igualmente ao caso anterior, com a fitofisionomia *Stricto Sensu*, foram executados os três testes: tendência simples, tendência logarítmica e tendência quadrática. O primeiro teste (tendência simples), realizado com a adição de uma variável de tempo (*time*), mostrou resultado positivo para a presença de tendência, sendo significativo a 1%. Nesse teste também foi utilizado o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), usando as observações mensais de 01/1984 a 12/2010, totalizando uma série de 324 observações. Nesse caso, a variável dependente é a temperatura de superfície da fitofisionomia *Mata Mesofítica* (T_Meso). Os resultados do teste de tendência simples estão na Tabela 08.

Tabela 08 – Resultados do teste de tendência simples para T_Meso

	Coefficiente	Erro Padrão	Razão-t	p-Valor
Constante	0,349819	0,00666385	52,50	6,78e-160 ***

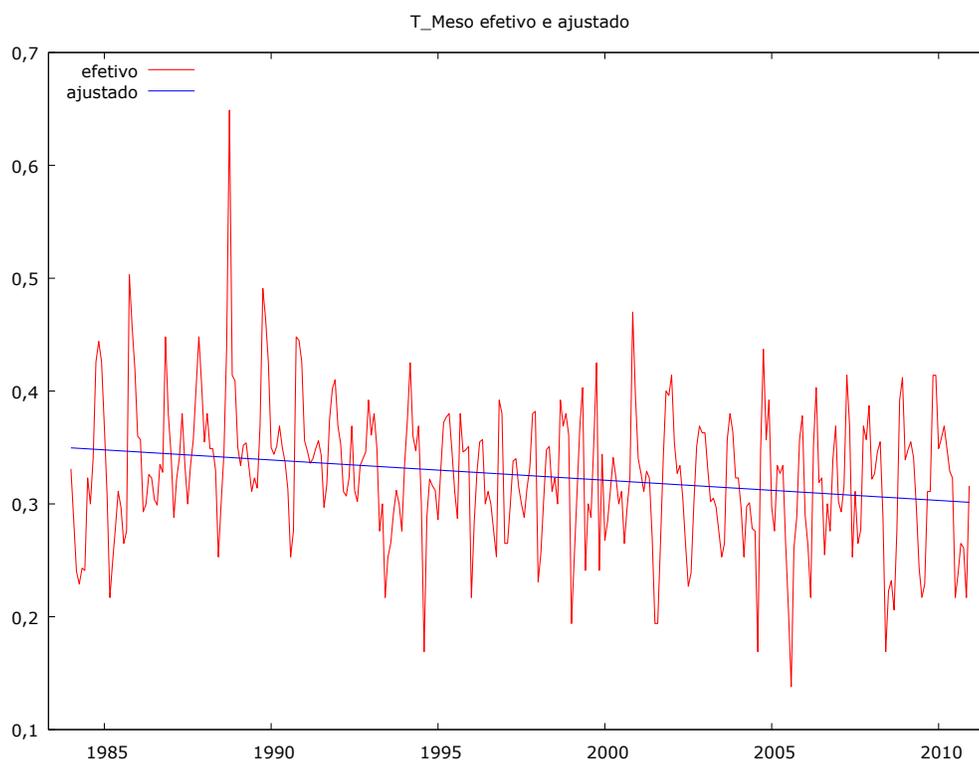
Tempo/tendência	-0,000149352	3,55416e-05	-4,202	3,43e-05 ***
------------------------	--------------	-------------	--------	--------------

Fonte: Organização própria.

*** indica que o resultado é significativo a 1%.

A variável dependente (T_Meso) apresentou o índice R-quadrado ajustado igual a 0,051988 e p-valor (para F=1,322) igual a 0,000034, o que significa que o modelo está bem ajustado. Os dois valores de p-Valor apresentados na Tabela 08, menores que 0,01, confirmam a presença de tendência na série dessa variável (1%). Os valores do modelo efetivos e ajustados podem ser visualizados na Figura 15.

Figura 15 – Valores do modelo efetivo e ajustado para T_Meso



Fonte: Organização própria.

Ao avaliar o teste de tendência quadrática, os resultados apontam que há tendência a um nível de significância de 1% (Tabela 09). Nesse teste, também foi utilizado o MQO e as mesmas 324 observações, de 01/1984 a 12/2010.

Tabela 09 – Resultados do teste de tendência quadrática para T_Meso

Coefficiente	Erro Padrão	Razão-t	p-Valor
---------------------	--------------------	----------------	----------------

Constante	0,341096	0,000499287	68,32	1,11e-193 ***
Tempo/tendência	-4,42231e-07	1,0594e-07	-4,174	3,85e-05 ***

Fonte: Organização própria.

*** indica que o resultado é significativo a 1%.

O índice R-quadrado ajustado referente à variável dependente (T_Meso) foi igual a 0,048388 e o valor de p-valor (para F=1,322) igual a 0,000039, indicando que o modelo apresentou um bom ajustamento. Os baixos valores de p-Valor (Tabela 09) confirmam a existência de tendência na série da fitofisionomia mesofítica.

O último teste, com a Tendência Logarítmica, apontou que não há presença de tendência a um nível de significância de 1% (Tabela 10). Contudo, mostrou que há tendência com nível de significância a 5% (p-Valor < 0,05), como mostrado na Tabela 10. No teste foi utilizado o MQO e as 324 observações do período em análise.

Tabela 10 – Resultados do teste de tendência Logarítmica para T_Meso

	Coefficiente	Erro Padrão	Razão-t	p-Valor
Constante	0,366533	0,0171240	21,40	7,69e-064 ***
Tendência Logarítmica	-0,00855159	0,00350267	-2,411	0,0152 **

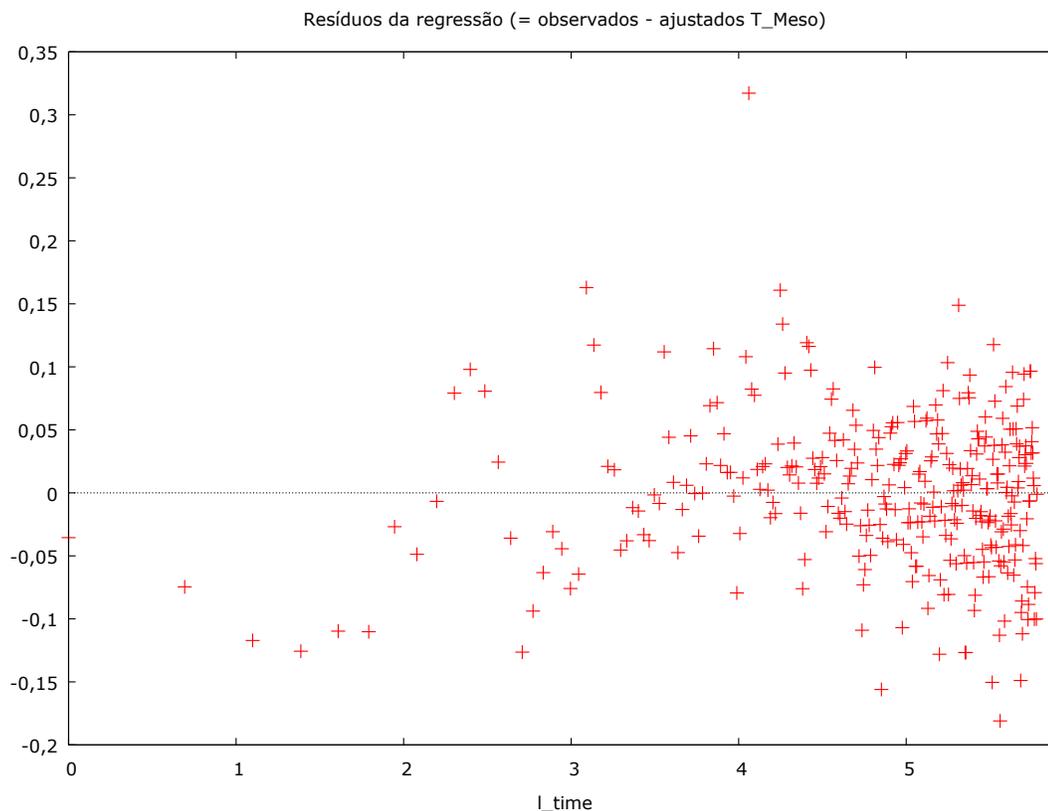
Fonte: Organização própria.

*** indica que o resultado é significativo a 1% e ** significativo a 5%.

A variável dependente (T_Meso) apresentou o índice R-quadrado ajustado igual a 0,015126 e p-valor (para F=1,322) igual a 0,015166, indicando um bom ajuste do modelo. O valor menor que 0,05 de p-Valor (Tabela 10), para “Tendência Logarítmica”, confirmou a existência de tendência na série, mas no nível de significância a 5%.

Os resíduos da regressão, obtida a partir do modelo logarítmico, podem ser observados na Figura 16. Nota-se que são baixos valores de resíduos, menores que 0,20, com exceção de um ponto/ano que apresentou resíduo próximo de 0,35.

Figura 16 – Resíduos da regressão (valores observados – valores ajustados de T_Meso)



Fonte: Organização própria.

O mesmo procedimento foi adotado para a série NDVI, calculada na fitofisionomia *Mata Mesofítica* (N_Meso). Os resultados apontaram que há a presença de tendência no modelo com a variável NDVI, nos testes “simples (*time*/tendência)” e “logarítmica”, com nível de significância a 1% e, ao nível de 5%, no teste de tendência quadrática, como mostrado na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados do teste de tendência simples, quadrática e logarítmica para N_Meso

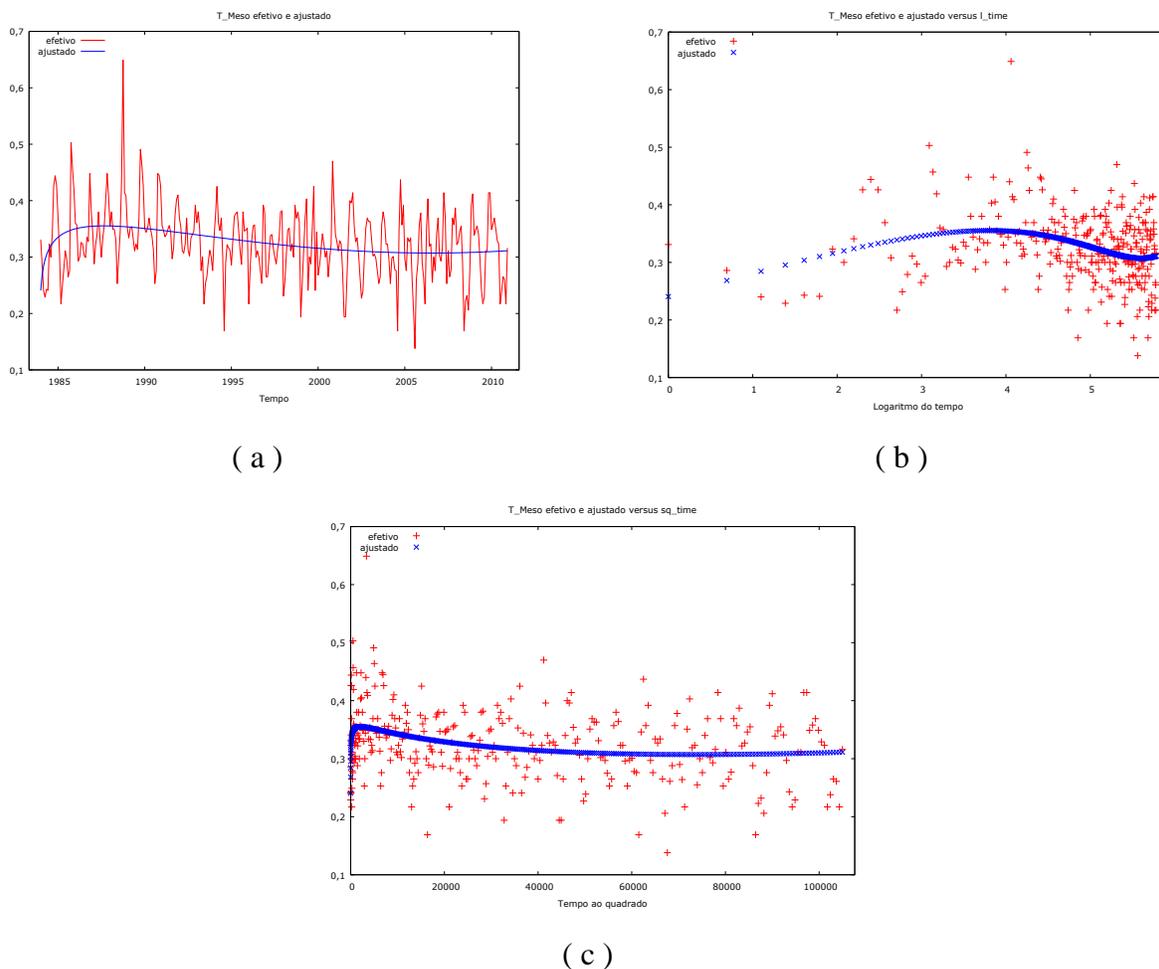
	Coefficiente	Erro Padrão	Razão-t	p-Valor
Constante	0,241773	0,0303557	7,965	2,93e-014e-173 ***
Tempo/Tendência	0,0417877	0,0114421	3,652	0,003 ***
Tendência Quadrática	1,72377e-06	6,68026e-07	2,580	0,0103 **
Tendência Logarítmica	-0,00108977	0,000307382	-3,545	0,005 ***

Fonte: Organização própria.

*** indica que o resultado é significativo a 1% e ** significativo a 5%.

Os resíduos da regressão, obtida a partir dos modelos simples, logarítmica e quadrático, podem ser observados na Figura 17a, 17b e 17c. Nota-se que são valores de resíduos menores que 0,7.

Figura 17 - Gráficos dos valores observados e ajustados da série N_Meso: a) Tendência simples b) tendência logarítmica e c) tendência quadrática

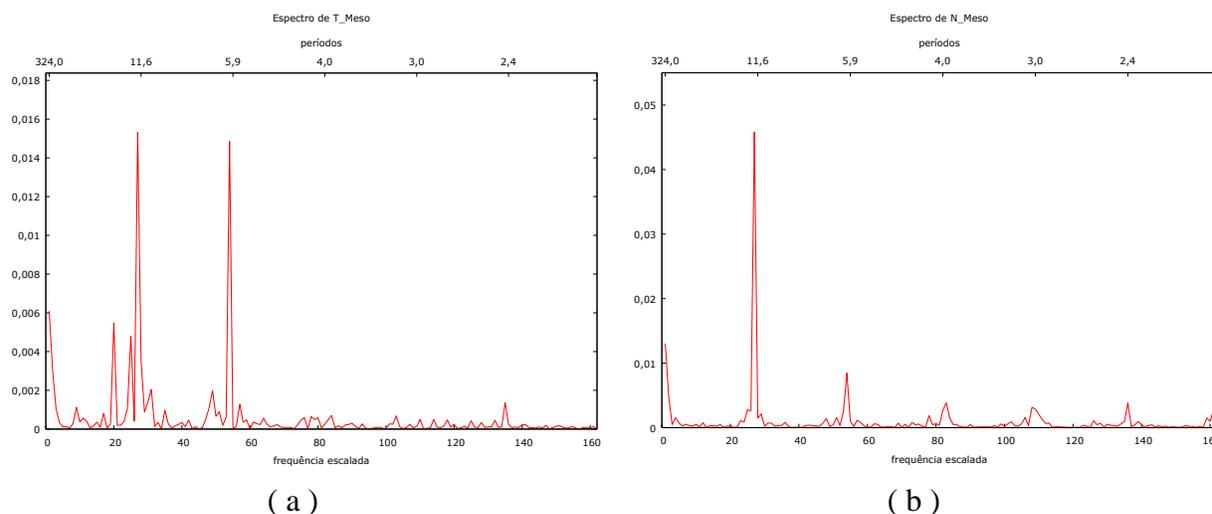


Fonte: Organização própria.

4.2.2. Análise de Sazonalidade

Nessa fase, foi realizada uma análise para identificar a presença do componente sazonal. Para tanto, procedeu-se a análise dos periodogramas das séries de Temperatura de Superfície (Figura 18a) e de NDVI (Figura 18b) para verificar se essas séries apresentam ou não sazonalidade.

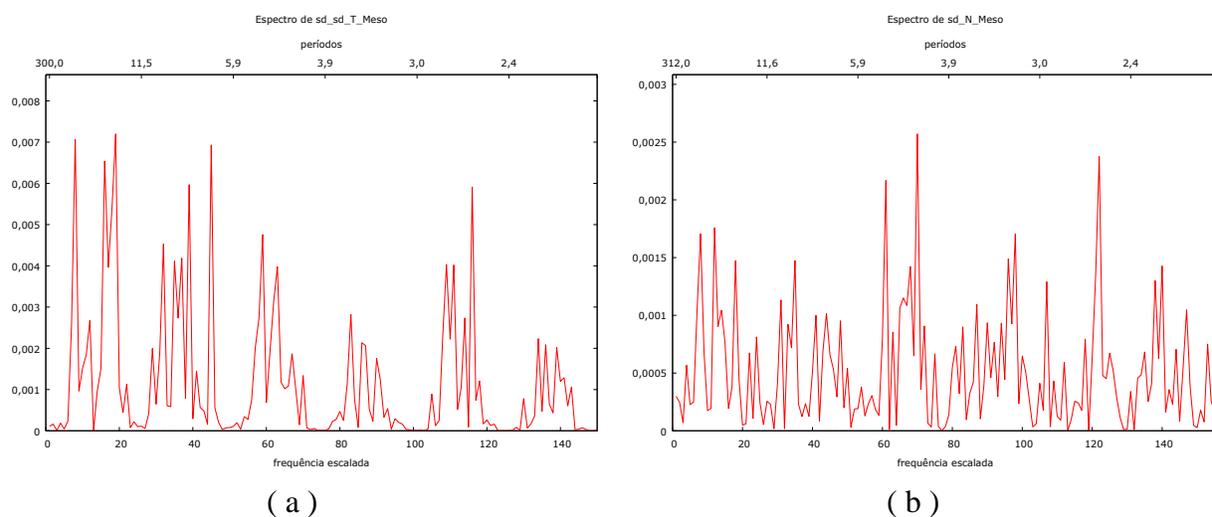
Figura 18 – Periodogramas das séries: a) T_Meso e b) N_Meso



Fonte: Organização própria.

Pode-se observar nos dois periodogramas que ocorreram picos individualizados, mostrando que há um comportamento sazonal. Para modelar as sazonalidades dessas duas séries, (T_Meso e N_Meso) foram aplicadas duas diferenças sazonais na série T_Meso e uma diferença na N_Meso, tornando-as suavizadas, como mostrado na Figura 19a e Figura 19b, respectivamente.

Figura 19 – Periodogramas das séries suavizadas: a) T_Meso com duas defasagens sazonais e b) N_Meso com uma defasagem sazonal



Fonte: Organização própria.

Após a suavização das duas séries, iniciou-se a análise de estacionariedade de ambas.

4.2.3. Análise de Estacionariedade

Como mencionado anteriormente, a estacionariedade pode ser verificada pela análise da existência ou não de raiz unitária na série. Ao aplicar o teste ADF (Aumentado de Dickey-Fuller) nas duas séries, observou-se que a hipótese nula (H_0) é aceita para T_Meso e para N_Meso, indicando que as duas séries possuem raízes unitárias e são não estacionárias, com valores de p-valor assintótico iguais a 0,1668 (T_Meso) e 0,6762 (N_Meso), respectivamente, sendo ambos maiores do que os níveis de significâncias usuais.

Com aplicação de uma defasagem (312 observações) em ambas as séries e com aplicação de outro teste ADF, verificou-se que as duas séries se tornaram estacionárias, com baixos valores de p-Valor assintótico, iguais a 2,412e-051 (T_Meso) e 5,494e-091 (N_Meso), valores menores do que os níveis de significância usuais.

4.2.4. Análise do Modelo SARIMA (1, 2, 1 x 1, 1, 1) com a Série T_Meso

Tendo como variável dependente a temperatura de superfície na fitofisionomia *Mata Mesofítica* (T_Meso) e, usando o modelo X-12-ARIMA (Máxima verossimilhança exata) com 299 observações (02/1986 a 12/2010), foram calculados os seguintes coeficientes (Tabela 12)

Tabela 12 – Ajuste do modelo X-12-ARIMA com a série T_Meso

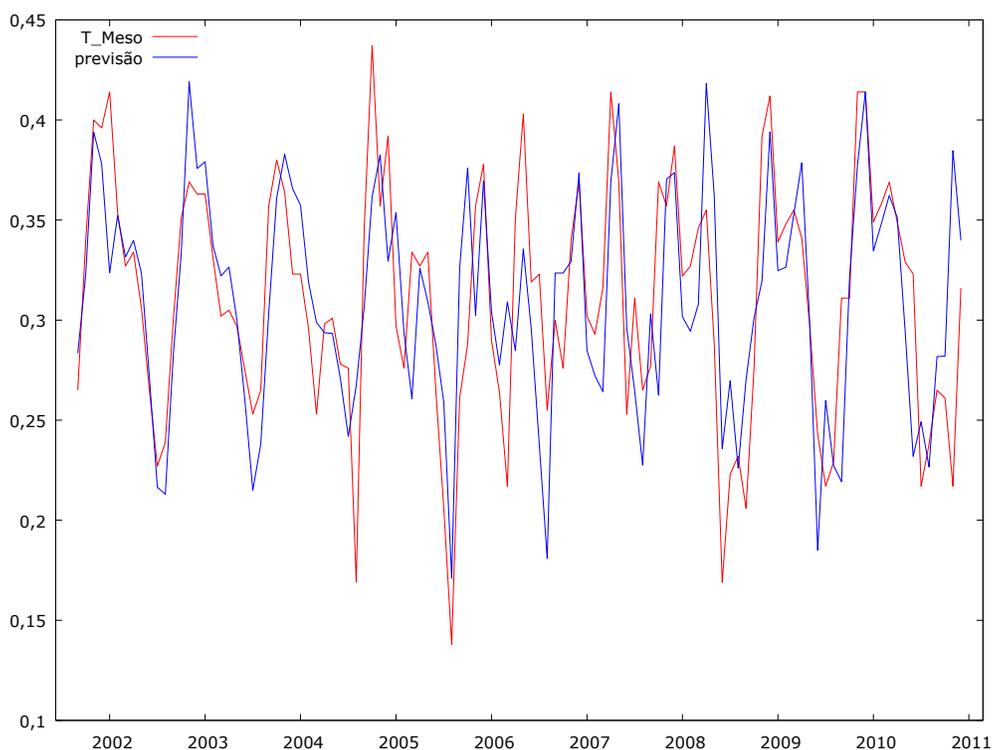
	Coefficiente	Erro Padrão	z	p-Valor
Constante	0,370525	0,0511688	7,541	4,45e-013 ***
π_1	0,341628	0,089707	3,808	0,0001 ***
θ_1	0,296590	0,090909	3,262	0,0011 ***

Fonte: Organização própria.

*** indica que o resultado é significativo a 1%.

Os baixos valores de p-Valor, apresentados na Tabela 12, mostram que o modelo X-12-ARIMA também é uma escolha acertada para estudo do comportamento da série T_Meso. Igualmente ao estudo anterior, com a série *Stricto Sensu*, foi realizada uma previsão para o ano de 2010, na série T_Meso e comparados os resultados com a observação do mesmo ano. Como estatísticas de avaliação dessa previsão podem ser citados os erros: erro médio (-0,0079568), erro quadrático médio (0,0033692) e o erro absoluto médio (0,035991). Os gráficos da série original e previstos são ilustrados na Figura 20.

Figura 20 – Previsão da série T_Meso para o ano 2010 com 100 últimas observações



Fonte: Organização própria.

Uma vez aceito o modelo resultante do “X-12-ARIMA” é possível estimar os valores de previsão da temperatura de superfície na fitofisionomia *Mata Mesofítica* (T_Meso), para o ano de 2011 (além da série original), em um intervalo de confiança pré-definido (5%), como mostrado no Quadro 03.

Quadro 03 – Dados de previsão da série T_Meso

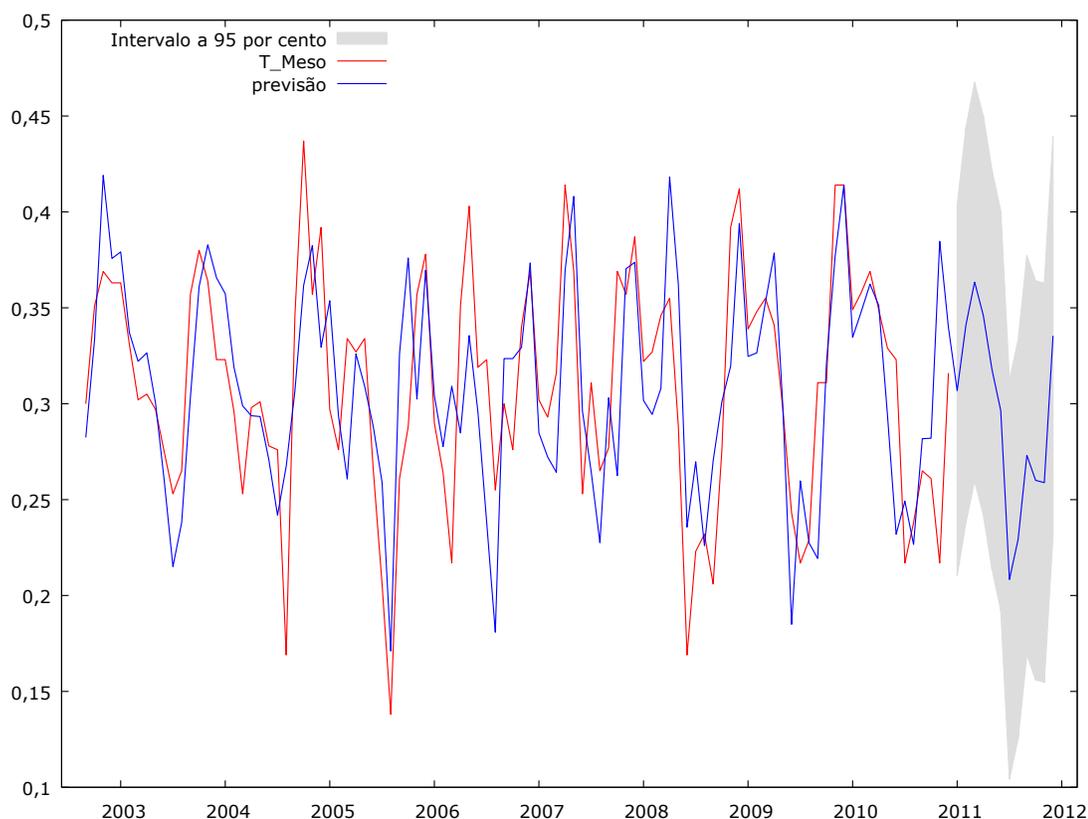
Ano/Mês	Previsão	Erro Padrão	Intervalo a 95%	
2011/01	0,306864	0,0492903	0,210257	0,403471
2011/02	0,340946	0,0525699	0,237911	0,443981
2011/03	0,363521	0,0530061	0,259631	0,467411
2011/04	0,346036	0,0530663	0,242078	0,450095
2011/05	0,347711	0,0530749	0,213686	0,421736
2011/06	0,296372	0,0530761	0,192345	0,400399
2011/07	0,208344	0,0530763	0,104316	0,312372
2011/08	0,229361	0,0530764	0,125333	0,333389
2011/09	0,273113	0,0530764	0,169085	0,377141
2011/10	0,260051	0,0530764	0,156023	0,364079

2011/11	0,258862	0,0530764	0,154834	0,362890
2011/12	0,335422	0,0530764	0,231349	0,439450

Fonte: Organização própria.

Os valores do erro padrão apresentados no Quadro 03 apontam para uma previsão acertada, dados os baixos valores, menores que 0,054. O gráfico da previsão pode ser visto na Figura 21.

Figura 21 – Previsão da série T_Meso para o ano 2011



Fonte: Organização própria.

4.2.5. Análise do Modelo SARIMA (0, 1, 1 x 1, 1, 1) com a Série N_Meso

A análise da série dos valores de NDVI da área com a fitofisionomia *Mata Mesofítica* (N_Meso) foi realizada similarmente à análise feita com a série T_Meso, mostrada na seção anterior. Dessa forma, foi utilizado o modelo SARIMA, usando as 299 observações do período de 1986/02 a 2010/12, sendo estimado pelo modelo X-12-ARIMA (máxima verossimilhança exata). Os coeficientes do modelo gerado podem ser vistos na Tabela 13.

Tabela 13 – Ajuste do modelo X-12-ARIMA com a série N_Meso

	Coefficiente	Erro Padrão	z	p-Valor
Constante	3,0578e-05	1,60385	1,907	0,0565 *
π_1	0,578035	0,0513141	11,26	1,96e-029 ***
θ_1	-0,999989	0,0134236	-74,49	0,0000 ***
θ_1	-0,996852	0,0312245	-31,93	1,19e-223 ***

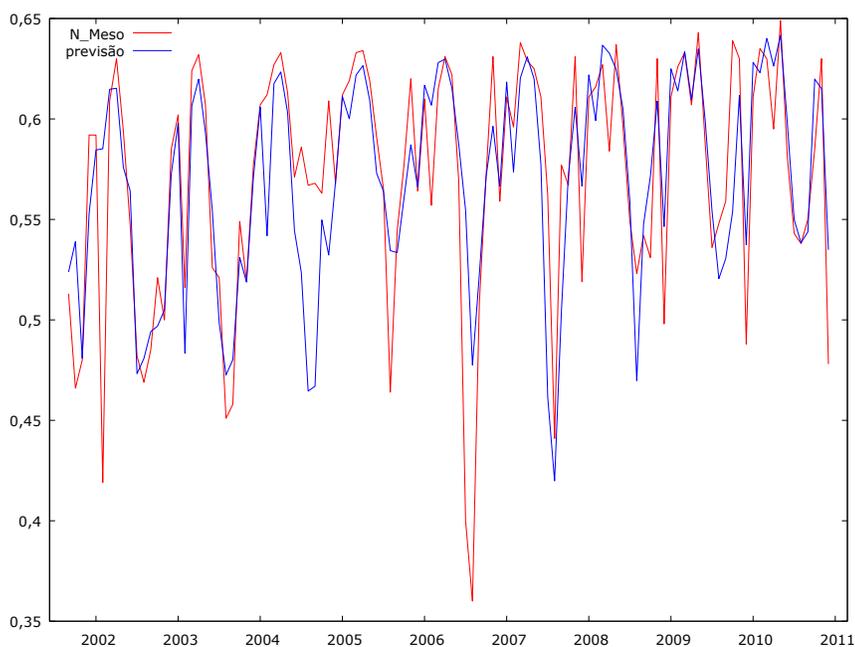
Fonte: Organização própria.

*** indica que o resultado é significativo a 1% e * significativo a 10%.

Embora tenha apresentado um valor (constante) significativo a 10%, os baixos valores de p-Valor (0,01 ou 1%) mostram que o modelo X-12-ARIMA também é uma escolha acertada para estudo do comportamento da série N_Meso.

Foi realizada uma previsão para o ano de 2010, na série N_Meso, para fins de comparação com a observação de NDVI do mesmo ano. Como estatísticas de avaliação dessa previsão podem ser citados os erros: erro médio (0,011185), erro quadrático médio (0,00055197) e o erro absoluto médio (0,017934). Os gráficos com os valores da série original e valores previstos são ilustrados na Figura 22.

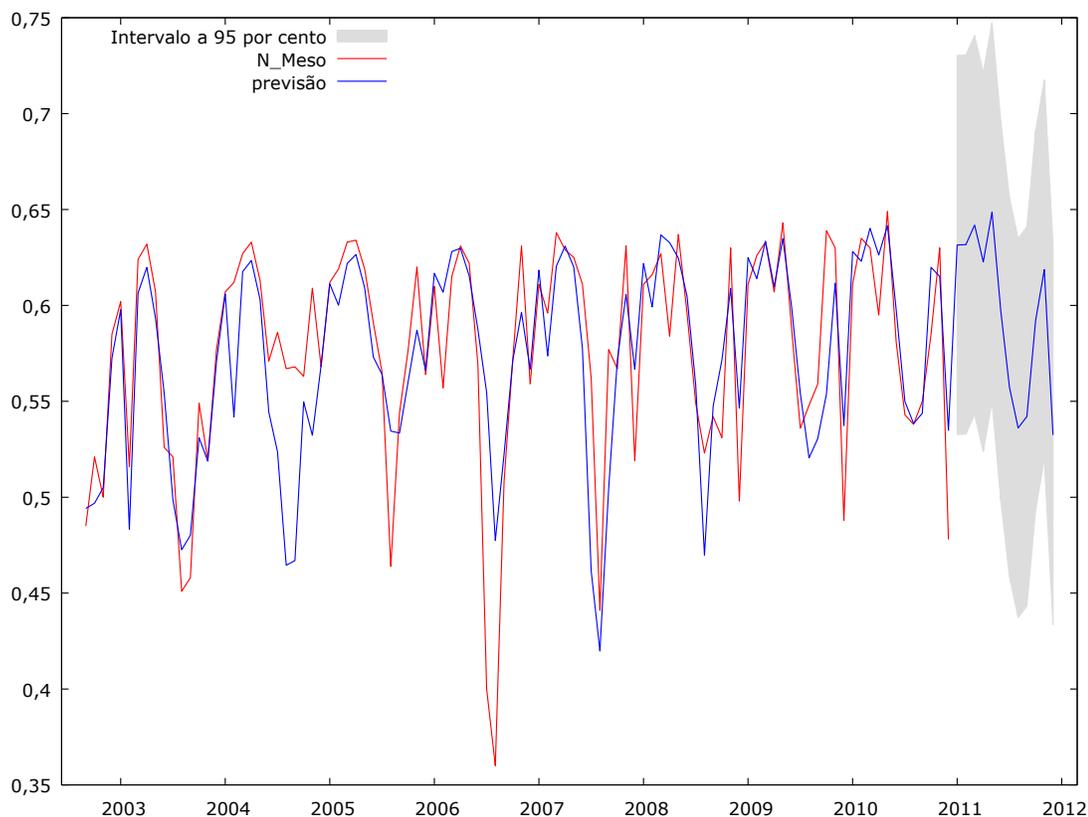
Figura 22 – Previsão da série N_Meso para o ano 2010



Fonte: Organização própria.

Dados os baixos valores de erros na previsão com o modelo resultante do “X-12-ARIMA” foram estimados os valores de previsão da série de NDVI medidos na fitofisionomia *Mata Mesofítica* (N_Meso), para o ano de 2011 (além da série original), em um intervalo de confiança 95% ($z[0,025] = 1,96$). Os baixos valores de erro padrão ($<0,079$) apontam uma previsão acertada, como ilustrado no gráfico da Figura 23.

Figura 23 – Previsão da série N_Meso para o ano 2011



Fonte: Organização própria.

Para intervalos de confiança de 95%, $z(0,025) = 1,96$.

4.2.6. Cointegração Entre as Séries T_Meso e N_Meso

O teste de cointegração entre as séries T_Meso (dependente) e N_Meso (independente) foi realizado pelo método de Engle Granger. Primeiramente, foi realizado o teste entre o par: T_Meso x N_Meso. Como já apresentado em seções anteriores, em ambas as séries (T_Meso e N_Meso) foi aplicado o teste ADF, comprovando a existência de raiz unitária (p-Valor igual a 0,1668 e 0,6762, respectivamente). Contudo, após uma defasagem e uma nova aplicação do teste ADF, comprovou-se que as duas séries se tornaram estacionárias (p-Valor igual a 2,412e-051 e 5,494e-

091, respectivamente), condição necessária para aplicação do teste de cointegração. O baixo valor de R^2 Ajustado (-0,002973) demonstra que a temperatura de superfície não tem um alto grau de explicação sobre a variação do NDVI nesse tipo de fitofisionomia.

A regressão de cointegração foi realizada pelo método MQO, usando as 324 observações coletadas no período (1984/01 a 2010/12), tendo como variável dependente a série T_Meso. Dentro desse processo, no teste da raiz unitária dos resíduos, foi utilizado o teste ADF, encontrando um p-Valor igual a 0,3678, aceitando a hipótese H_0 , o que significa que a série dos resíduos é não estacionária, pois p-Valor é maior que os níveis de significâncias usuais. Nesse caso, não há relação de cointegração entre as duas variáveis/séries, pois o segundo critério (b) não é atendido, onde afirma que a hipótese de raiz unitária deve ser rejeitada para os resíduos da regressão de cointegração.

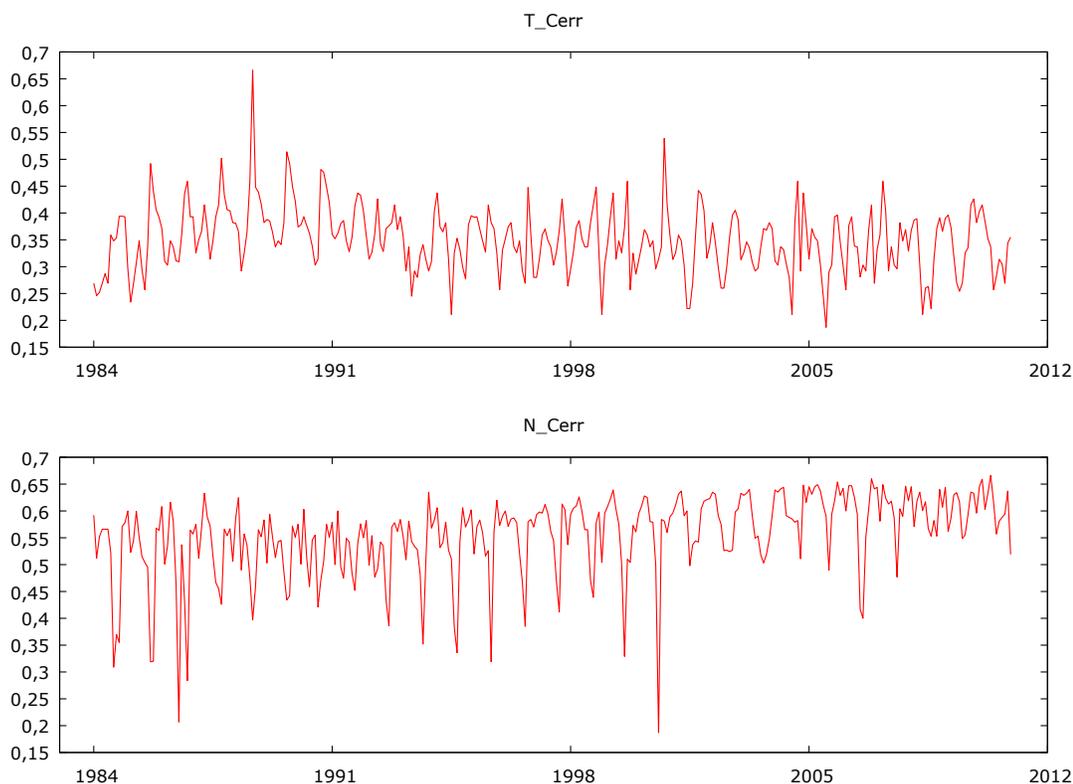
Analogamente, foi realizado o teste entre o par: N_Meso x T_Meso. Foi aplicada a regressão de cointegração, usando o MQO sobre as 324 observações mensais (de 1984/01 a 2010/12), e o teste para raiz unitária, nos resíduos da cointegração, usando o ADF com uma defasagem (restando 311 observações), e foi obtido um p-Valor assintótico igual a 0,866, aceitando também a hipótese nula (H_0). Igual ao par anterior, não atende ao critério b) para concretizar a cointegração. Portanto, essas duas séries não são cointegradas.

4.3. CERRADÃO

4.3.1. Análise de Tendência

Na Figura 24 são apresentados os gráficos das séries de tempo: valores de Temperatura de Superfície (T_Cerr) e valores de NDVI (N_Cerr), correspondentes à fitofisionomia *Cerradão*. Com análise visual, percebe-se que não há a presença de *outliers* nas séries em questão. No caso da série T_Cerr, não fica claro se a mesma possui ou não tendência, sendo necessária a aplicação de um teste para identificação de tendência.

Figura 24 – Medidas de Temperatura de Superfície e de NDVI referentes à fitofisionomia *Cerradão*



Fonte: Organização própria.

Foram executados três testes: tendência simples, tendência logarítmica e tendência quadrática. O teste de tendência simples foi realizado com a adição de uma variável de tempo (*time*), e teve resultado positivo para a presença de tendência, significativo a 1%. Foi utilizado o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), com 324 observações, sendo elas mensais, de 01/1984 a 12/2010. A variável dependente é a temperatura de superfície da fitofisionomia *Cerradão* (*T_Cerr*). Os resultados dos testes de tendência estão na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados dos testes de tendência simples, quadrática e logarítmica para *T_Cerr*

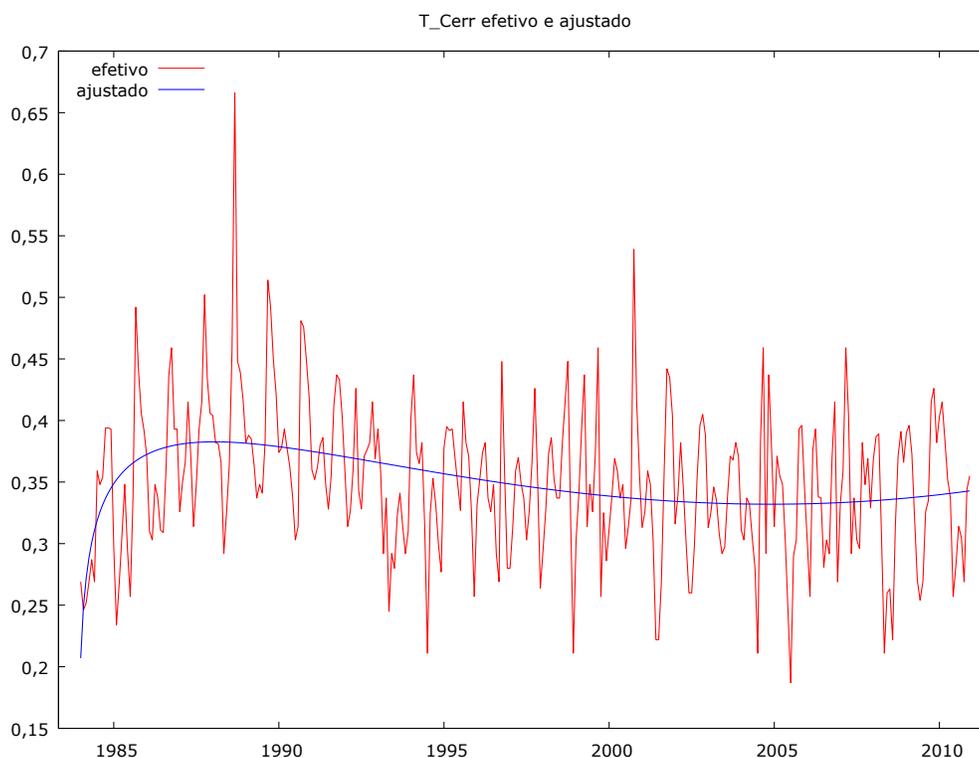
	Coefficiente	Erro Padrão	Razão-t	p-Valor
Constante	0,208517	0,0292843	7,120	7,13e-012 ***
Time/tendência	-0,00149903	0,000296533	-5,055	7,25e-07 ***
Quadrática	2,48719e-06	6,44448e-07	3,859	0,0001 ***
Logarítmica	0,0620840	0,0110382	5,624	4,06e-08 ***

Fonte: Organização própria.

*** indica que o resultado é significativo a 1%.

Como resultado, o índice R-quadrado ajustado foi igual a 0,118229 e p-valor (para $F=3,320$) igual a $2,11e-09$, significando que o modelo está bem ajustado. Os dois valores de p-Valor apresentados foram menores que 0,01, o que confirma a presença de tendência na série dessa variável (1%). Os valores do modelo efetivos e ajustados podem ser visualizados na Figura 25.

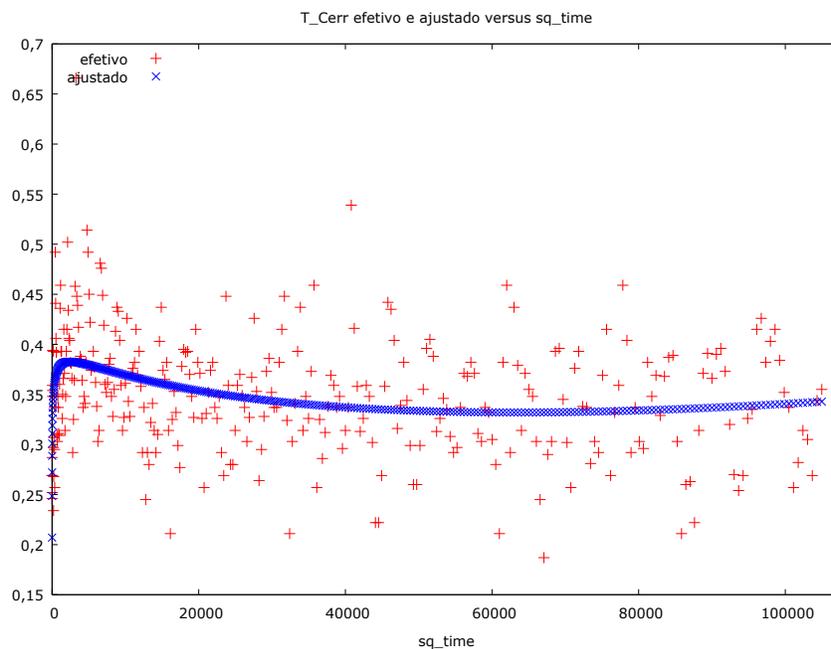
Figura 25 – Valores do modelo efetivo e ajustado para T_Cerr



Fonte: Organização própria.

Por outro lado, ao avaliar o teste de tendência quadrática, os resultados indicaram que há tendência a um nível de significância de 1% (Tabela 26).

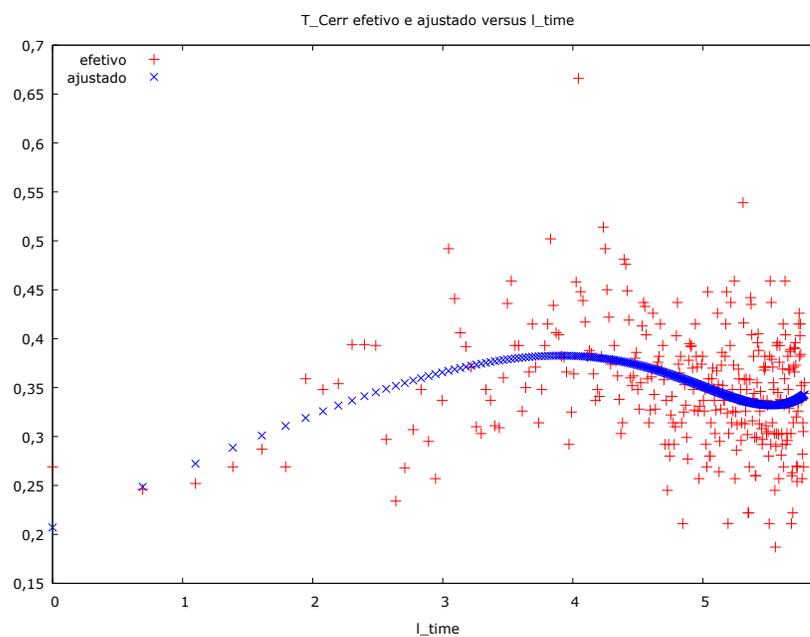
Figura 26 – Gráfico da tendência quadrática para T_Cerr



Fonte: Organização própria.

No último teste, de tendência logarítmica, foi observada também a presença de tendência, como mostrado no gráfico da Figura 27.

Figura 27 – Gráfico de tendência logarítmica para T_Cerr



Fonte: Organização própria.

O mesmo procedimento, usando MQO e 324 observações coletadas mensalmente no período de 01/1984 a 12/2010, foi adotado para a série NDVI, calculada na fitofisionomia Cerradão (N_Cerr). Os resultados apontaram que há a presença de tendência no modelo com a variável (*time*/tendência), como mostrado na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultados do teste de tendência simples, quadrática e logarítmica para N_Cerr

	Coefficiente	Erro Padrão	Razão-t	p-Valor
Constante	0,546435	0,0350471	15,59	3,64e-041 ***
Tempo/Tendência	0,000683973	0,000354887	1,9127	0,0548 *
Tendência Quadrática	-5,34073e-07	7,71267e-07	-0,6925	0,4891
Tendência Logarítmica	-0,017339	0,0132104	-1,312	0,1905

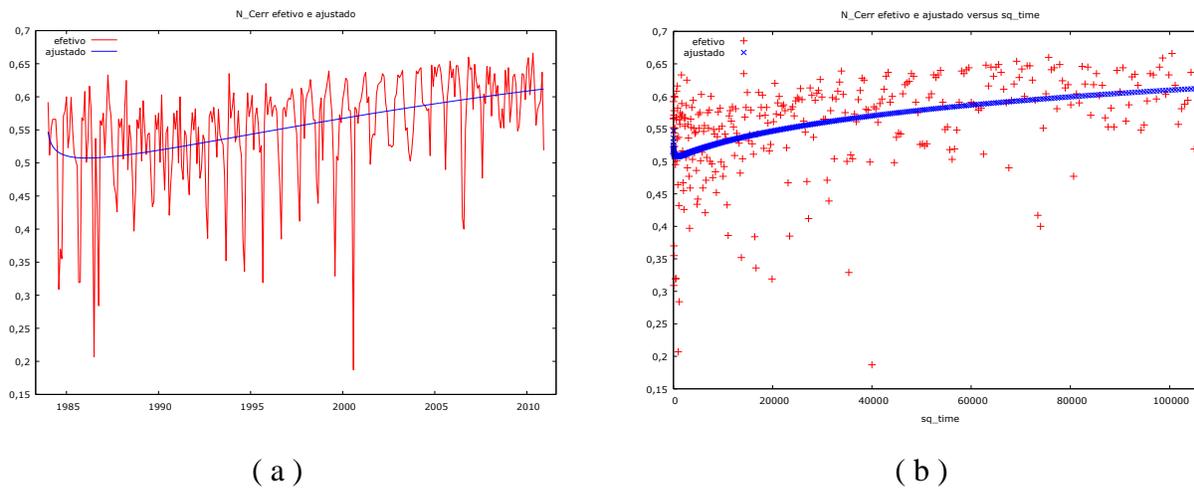
Fonte: Organização própria.

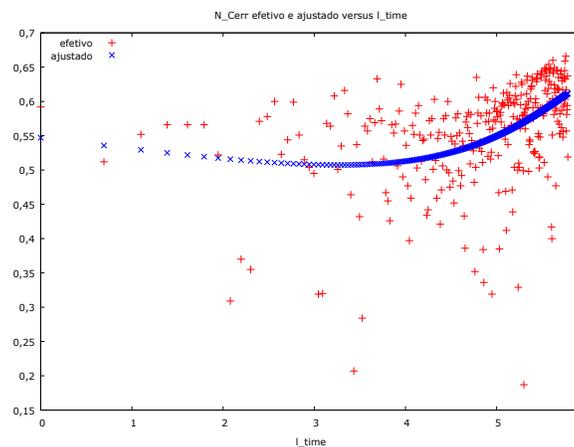
*** indica que o resultado é significativo a 1% e * significativo a 10%.

A variável dependente (N_Cerr) apresentou o índice R-quadrado ajustado igual a 0,189526. O valor de p-valor (para F=3,320) igual a 3,61e-15, confirmam a não existência de tendência na série dessa variável nos testes de tendência quadrática e logarítmica. Para a tendência simples, o p-valor de 0,0548 aponta tendência significativa a 10%.

A seguir tem-se os gráficos dos valores observados e ajustados de N_Cerr: (a) Tendência Simples; (b) Tendência Quadrática e (c) Tendência Logarítmica.

Figura 28 – Gráficos de valores observados e ajustados para N_Cerr





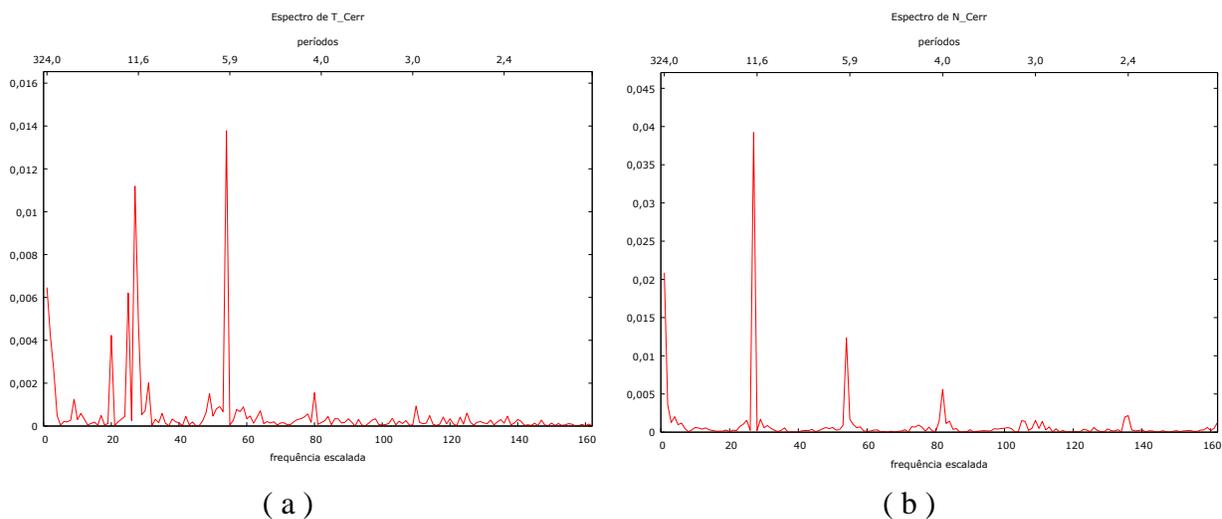
(c)

Fonte: Organização própria.

4.3.2. Análise de Sazonalidade

Foi realizada também, uma análise para identificar a presença do componente sazonal. Para isso, foi feita a análise dos periodogramas das séries de Temperatura de Superfície (Figura 29a) e de NDVI (Figura 29b) para identificar ou não, a sazonalidade das séries.

Figura 29 – Periodogramas das séries: a) T_Cerr e b) N_Cerr



(a)

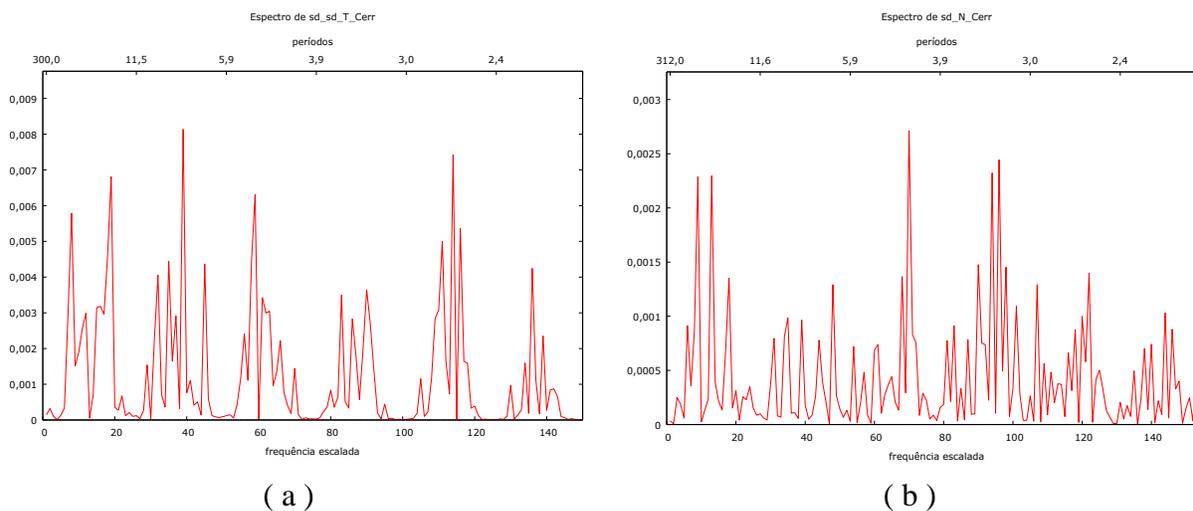
(b)

Fonte: Organização própria

Os picos individualizados observados nos dois periodogramas mostram a presença de comportamento sazonal nas séries. Para modelar as sazonalidades das séries, (T_Cerr e N_Cerr)

foram aplicadas duas diferenças sazonais, tornando-as suavizadas, como mostrado na Figura 30a (T_Cerr) e Figura 30b (N_Cerr).

Figura 30 – Periodogramas das séries suavizadas: a) T_Cerr com duas defasagens sazonais e b) N_Cerr com uma defasagem sazonal



Fonte: Organização própria.

Com a suavização das séries efetuada, foi dado início a análise de estacionariedade.

4.3.3. Análise de Estacionariedade

A estacionariedade pode ser verificada pela análise da existência ou não de raiz unitária na série. Com o teste ADF (Aumentado de Dickey-Fuller) para T_Cerr, observou-se que há presença de raiz unitária, logo a hipótese nula (H_0) é aceita, determinando que a série é não estacionária. O teste com constante e tendência, rejeita H_0 , com p-valor 0,07259, sendo estacionária, com valor inferior a 0,10, ou seja, é significativa a 10%. Para N_Cerr o p-valor encontrado para o teste de constante foi de 0,6847, aceitando a hipótese de raiz unitária, sendo assim não-estacionária. Em N_Cerr a hipótese H_0 é rejeitada, com p-valor igual a 0,0123, significativo a 5%.

Não foi necessária aplicação de diferenças, pois as séries são estacionárias em nível.

4.3.4. Análise do Modelo SARIMA (0, 0, 1 x 1, 2, 1) com a Série T_Meso

Usando como variável dependente a temperatura de superfície na fitofisionomia *Cerradão* (T_Cerr) e usando o modelo X-12-ARIMA (Máxima verossimilhança exata) com 300 observações (01/1986 a 12/2010), foram calculados os seguintes coeficientes (Tabela 16)

Tabela 16 – Ajuste do modelo X-12-ARIMA com a série T_Cerr

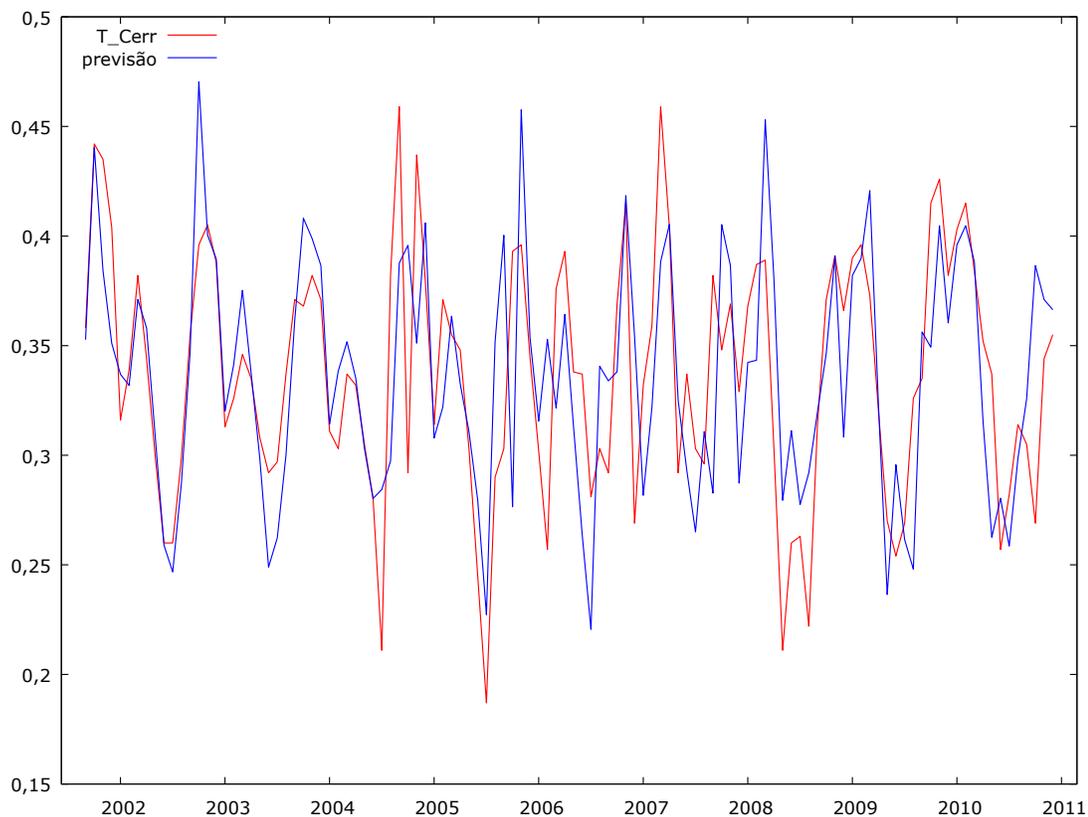
	Coefficiente	Erro Padrão	z	p-Valor
Constante	-0,332384	0,0531290	-6,256	3,95e-10 ***
π_1	0,351254	0,052076	6,996	2,63e-012 ***
θ_1	-0,999905	0,0503858	-19,84	1,22e-087 ***

Fonte: Organização própria.

*** indica que o resultado é significativo a 1%.

O valor de p-Valor apresentados na Tabela 16, todos muito baixos, mostram que o modelo X-12-ARIMA é uma escolha acertada para estudo do comportamento da série T_Cerr. Como feito na análise das outras duas séries, foi feito também uma previsão para o ano de 2010 na série T_Cerr. Os resultados foram comparados com a observação do mesmo ano e confirmou-se que a escolha do modelo foi acertada. Como estatísticas de avaliação dessa previsão podem ser citados os erros: erro médio (-0,0030759), erro quadrático médio (0,0019574) e o erro absoluto médio (0,030967). Os gráficos da série original e previstos são ilustrados na Figura 31.

Figura 31 – Previsão da série T_Cerr para o ano 2010 com 100 últimas observações



Fonte: Organização própria.

Com o modelo resultante do “X-12-ARIMA” aceito, é possível estimar os valores de previsão da temperatura de superfície na fitofisionomia *Cerradão* (T_Cerr), para o ano de 2011 (além da série original), em um intervalo de confiança pré-definido, como mostra o Quadro 04.

Quadro 04 – Dados de previsão da série T_Cerr

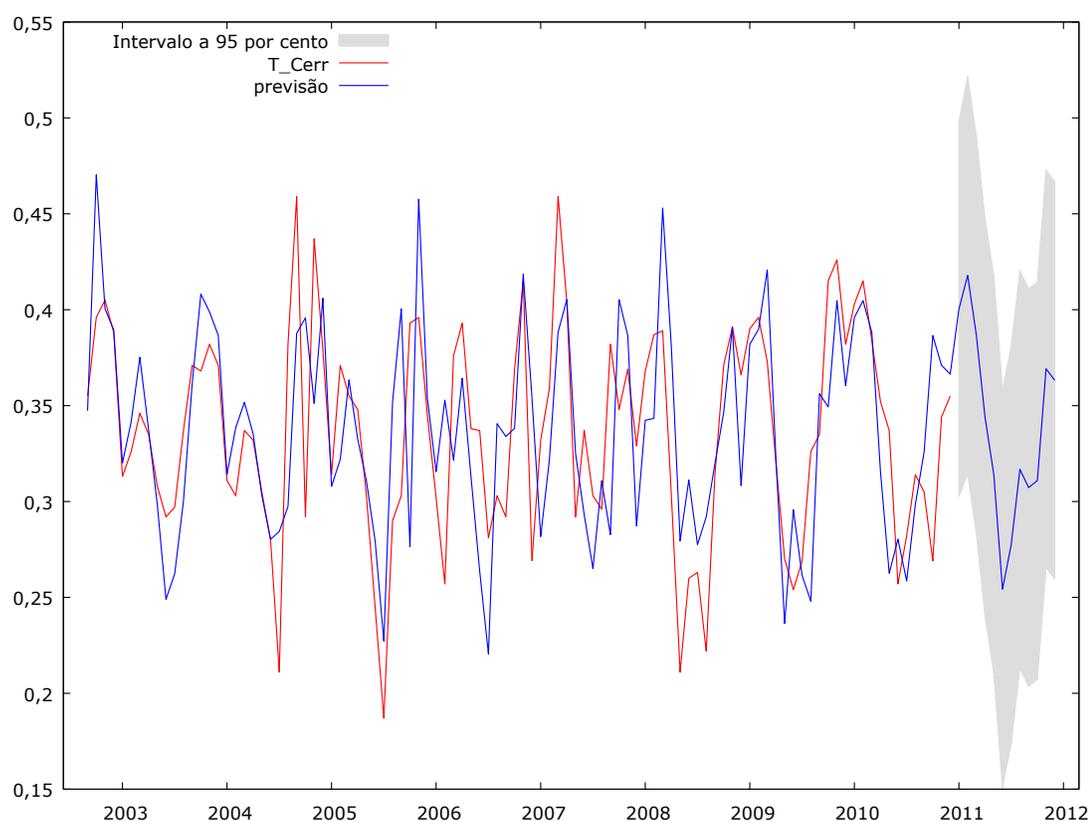
Ano/Mês	Previsão	Erro Padrão	Intervalo a 95%	
2011/01	0,400	0,0499	0,303	0,498
2011/02	0,418	0,0529	0,314	0,522
2011/03	0,387	0,0529	0,283	0,490
2011/04	0,344	0,0529	0,240	0,447
2011/05	0,314	0,0529	0,210	0,418
2011/06	0,254	0,0529	0,151	0,358
2011/07	0,277	0,0529	0,174	0,381
2011/08	0,317	0,0529	0,213	0,420
2011/09	0,307	0,0529	0,204	0,411
2011/10	0,311	0,0529	0,207	0,415

2011/11	0,369	0,0529	0,266	0,473
2011/12	0,363	0,0529	0,260	0,467

Fonte: Organização própria.

Os valores do erro padrão apresentados no Quadro 04 apontam para uma previsão acertada, dados os baixos valores de erros, menores que 0,084. O gráfico da previsão pode ser visto na Figura 32.

Figura 32 – Previsão da série T_Cerr para o ano 2011



Fonte: Organização própria.

4.3.5. Análise do Modelo SARIMA (0, 0, 0 x 1, 2, 1) com a Série N_Cerr

A análise da série dos valores de NDVI da área com a fitofisionomia *Cerradão* (N_Cerr) foi feita da mesma maneira que à análise da série T_Cerr, mostrada na seção anterior. Dessa forma, foi utilizado o modelo SARIMA, usando as 300 observações do período de 1986/01 a 2010/12, sendo estimado pelo modelo X-12-ARIMA (máxima verossimilhança exata). Nesse experimento ocorreu uma particularidade em relação às séries anteriores. O SARIMA apresentou constante não

significativa, com p-Valor muito alto, igual a 0,9668. Por esse motivo, foi gerado o modelo sem constante, não causando alteração nos sinais e na significância, como pode ser visto na Tabela 17.

Tabela 17 – Ajuste do modelo X-12-ARIMA com a série N_Cerr

	Coefficiente	Erro Padrão	z	p-Valor
π_1	-0,238537	0,0549907	-4,338	1,44e-05 ***
θ_1	-0,999923	0,0478342	-20,90	4,93e-97 ***

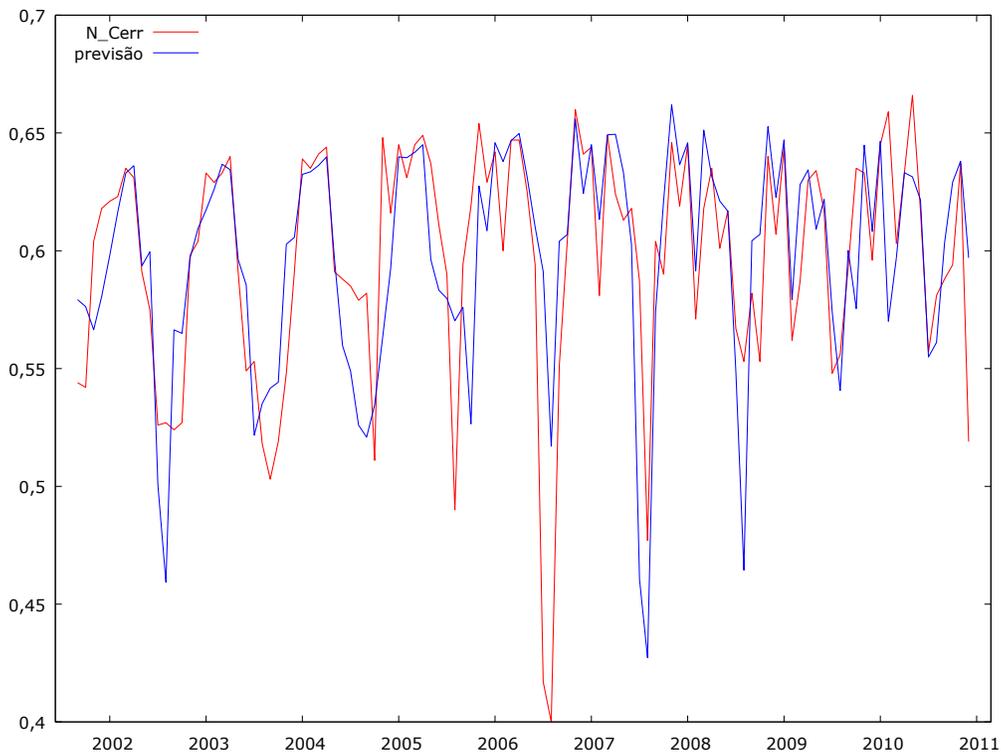
Fonte: Organização própria.

*** indica que o resultado é significativo a 1%.

Os valores de p-Valor significativos a 1% mostram que o modelo X-12-ARIMA também é uma escolha acertada para estudo do comportamento da série N_Cerr.

Para efeito de comparação com as observações de NDVI do mesmo ano, foi realizada uma previsão para o ano de 2010 na série N_Cerr. Como estatísticas de avaliação dessa previsão podem ser citados os erros: erro médio (0,0013228), erro quadrático médio (0,0014265) e o erro absoluto médio (0,023927). Os gráficos com os valores da série original e valores previstos são ilustrados na Figura 33.

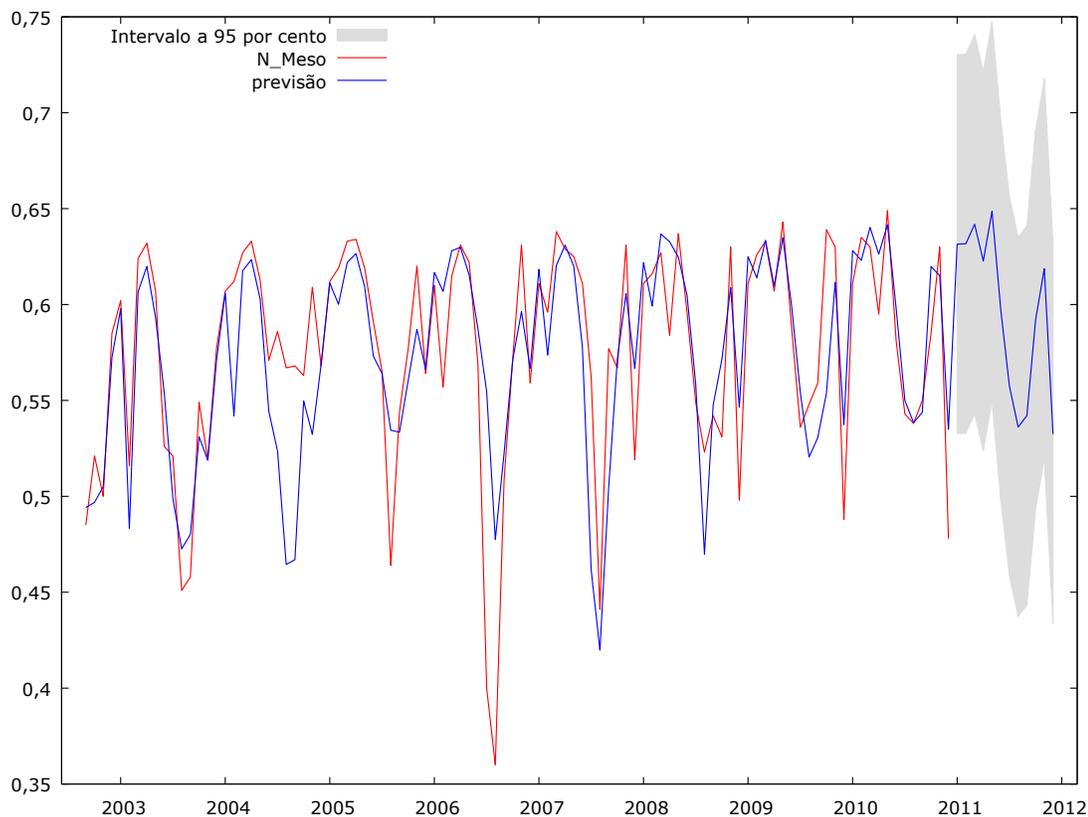
Figura 33 – Previsão da série N_Cerr para o ano 2010



Fonte: Organização própria.

Considerados os baixos valores de erros na previsão com o modelo resultante do “X-12-ARIMA”, foram estimados, em seguida, os valores de previsão da série de NDVI medidos na fitofisionomia *Cerradão* (N_Cerr), para o ano de 2011 (além da série original), em um intervalo de confiança 95% ($z[0,025] = 1,96$). Os baixos valores de erro padrão ($<0,079$) apontam uma previsão acertada, como ilustrado no gráfico da Figura 34.

Figura 34 – Previsão da série N_Cerr para o ano 2011



Fonte: Organização própria.

Para intervalos de confiança de 95%, $z(0,025) = 1,96$.

4.3.6. Cointegração entre as Séries T_Cerr e N_Cerr

O teste de cointegração entre as séries T_Cerr (dependente) e N_Cerr (independente) foi realizado pelo método de Engle Granger. Em um primeiro momento, foi realizado o teste entre o par: T_Cerr x N_Cerr. Como já apresentado em seções anteriores, em ambas as séries (T_Cerr e N_Cerr) foi aplicado o teste ADF, onde as séries se mostraram estacionárias em nível (p-Valor igual a 0,07259 e 0,6847, respectivamente), não necessitando nenhuma defasagem e já com a condição necessária para aplicação do teste de cointegração. O baixo valor de R^2 Ajustado (0,032639) demonstra que a temperatura de superfície tem grande influência na variação dos níveis de NDVI.

A regressão de cointegração foi realizada pelo método MQO, usando as 324 observações coletadas no período (1984/01 a 2010/12), tendo como variável dependente a série T_Cerr. Dentro desse processo, no teste da raiz unitária dos resíduos, foi utilizado o teste ADF, encontrando um p-Valor igual a 0,1108, o que significa que a série dos resíduos é estacionária.

No caso apresentado aqui, são rejeitados para os dois testes iniciais de raiz unitárias e também não rejeitou o teste de raiz unitária nos resíduos. Isso indica que as séries não são cointegradas, não tendo assim relação a longo prazo.

Analogamente, foi realizado o teste entre o par: N_Cerr x T_Cerr. Ao aplicar regressão de cointegração, usando o MQO sobre as 324 observações mensais (de 1984/01 a 2010/12), e tendo como variável dependente a N_Cerr, obteve-se os seguintes parâmetros apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Modelo ajustado pela regressão de cointegração

	Coefficiente	Erro Padrão	z	p-Valor
Constante	0,508531	0,0248242	20,49	3,11e-060 ***
T_Cerr	0,000349285	0,0638379	-0,4272	0,6695 ***

Fonte: Organização própria.

*** indica que o resultado é significativo a 1%.

Foi realizado o teste raiz unitária para nos resíduos da cointegração e aplicado o ADF com uma defasagem (restando 311 observações), e o p-Valor assintótico encontrado foi igual a 0,1108), não rejeitando os dois testes de raiz unitária e nem o teste de raiz unitária para os resíduos, logo isso evidência que não existe cointegração entre as séries, sem relação em longo prazo.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante muito tempo estamos presenciando significativo aumento nas ações que visam a preservação e conservação ambiental, desde as conferências mundiais sobre as questões ambientais, ações governamentais vindas em forma de lei, até a criação de Unidades de Conservação por iniciativa privada, como é o caso das Reservas Particulares de Patrimônio Natural. Com presença do ser humano cada vez mais intensa nos ambientes naturais, buscando aliar crescimento econômico e a conservação do meio ambiente, são sempre necessárias novas formas de uso e ocupação além de estudos para minimizar e corrigir impactos. Visando identificar possíveis relações entre variáveis ambientais e apontar previsões acerca dessas variáveis, esse trabalho busca auxiliar nesses processos.

Os objetivos propostos pelo trabalho foram todos alcançados, desde a determinação de NDVI e TEMPSUP até a análise entre essas duas séries. Em um primeiro momento é comum enxergar uma relação entre os níveis de NDVI e temperatura de superfície, onde para que a temperatura de superfície varie, a incidência solar deve ser mais alta ou mais baixa e consequentemente isso afetaria os níveis de clorofila da vegetação e os valores de NDVI. Entretanto apesar dessa relação quase que instintiva, após a aplicação dos testes definidos pela metodologia, chegamos a um resultado de que não há cointegração entre essas duas variáveis em nenhum dos casos estudados. Os resultados apontaram que não há cointegração entre as séries, mesmo alterando as variáveis dependentes e independentes de temperatura de superfície para NDVI e de NDVI para temperatura de superfície.

Com os dados organizados e aplicado o teste de cointegração, notou-se que não há cointegração entre nenhuma das fitofisionomias e a temperatura de superfície a longo prazo. Estatisticamente, essa cointegração não existe, porém, outros fatores podem ser levados em conta para tal determinação. A área de estudos foi escolhida por ser uma Unidade de Conservação e ser ambiente preservado, onde acredita-se que os valores coletados sejam sempre constantes e indicados para análise, entretanto a Estação Ecológica de Pirapitinga fica localizada em uma “ilha”, ou seja, é quase que totalmente cercada de água, o que pode acabar influenciando nos resultados, uma vez que devido à presença constante de água o ambiente permanece úmido o ano todo.

Tal fato acaba por gerar ainda um questionamento a respeito da relação entre essas variáveis, o que abre margem para estudos futuros em ambientes diferentes. É compreensível que

há certa dificuldade em encontrar locais conservados, com diferentes fitofisionomias do Cerrado, mas acreditamos que, apesar dos resultados terem sido factíveis, o ambiente pode ter camuflado uma possível cointegração entre as séries.

Outro ponto de extrema relevância no trabalho foi a questão das previsões das séries. Foram feitas previsões com valores de 2009 e comparações com os dados existentes no ano de 2010, e essas previsões se mostraram com alto grau de confiança. Em seguida, foram feitas previsões para o ano de 2011, mostrando-se também com grau de confiança elevado. É importante observar que como a metodologia para as previsões alcançou resultado significativo, as informações sobre a superfície terrestre advindas de sensores orbitais podem ser usadas para a compreensão da dinâmica e evolução ambiental, auxiliando o planejamento e gestão ambiental.

Apesar do questionamento sobre a particularidade do ambiente e sua possível influência na cointegração das séries, essa influência não é vista nos modelos de previsão, uma vez que a previsão trabalha com uma série histórica de acontecimentos e dados. Chegamos ao ponto de que, com a metodologia correta, tratamento e manuseio correto dos dados orbitais, temos uma ótima possibilidade para conduzir trabalhos de correção e prevenção ambiental, baseado em previsões do comportamento da cobertura vegetal, expansíveis até para outras variáveis além do NDVI e de temperatura de superfície.

Observados os resultados e as possibilidades apresentadas, voltamos a destacar a importância da utilização da geotecnologia para o auxílio nas questões ambientais. A identificação de cointegração entre diferentes variáveis do ambiente e a previsão do comportamento da cobertura vegetal pode ajudar bastante na compreensão da dinâmica ambiental, e quanto mais estudos forem desenvolvidos a esse respeito, maior será a capacidade de compreender o ambiente e planejar ações que visem combater problemas ambientais, desde a correção até a minimização dos mesmos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, Daniel et al. MODIS Time Series to Detect Anthropogenic Interventions and Degradation Processes in Tropical Pasture. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 9, n. 1, p.73-93, 14 jan. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs9010073>.
- ALGER, K.; LIMA, A. **Políticas públicas e a fragmentação de ecossistemas**. In: RAMBALDI, D.M.; OLIVEIRA, D.A.S. (Org.). Fragmentação de ecossistemas: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2003 p. 390-420.
- ALMEIDA, S. A. S.; FRANÇA, R. S.; CUELLAR, M. Z. **Uso e ocupação do solo no Bioma Caatinga do Estado do Rio Grande do Norte**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal – RN, Brasil pp. 5555-5561, 25 a 30 de abril de 2009.
- ARAÚJO, A. A. et al. **Exportação brasileira de melão: um estudo de séries temporais**. In: XLVI Congresso da sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural, 46., 2008, Rio Branco. Anais... . Rio Branco: Sober, 2008. p. 1 - 15. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/>>. Acesso em: 04 jun. 2016.
- BAYMA, A. P.; SANO, E. E. Séries Temporais de Índices de Vegetação (NDVI e EVI) do Sensor MODIS para Detecção de Desmatamentos no Bioma Cerrado. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.21, n.4. Curitiba Oct./Dec. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000400047>.
- BITAR, O. Y.; IYOMASA, W. S.; CABRAL JUNIOR, M.. **Geotecnologia: tendências e desafios**. São Paulo em Perspectiva, [s.l.], v. 14, n. 3, p.78-90, jul. 2000. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-88392000000300013>. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-88392000000300013>>. Acesso em: 20 abr. 2016.
- BORLAUG, N.E. 2002. **Feeding a world of 10 billion people: the miracle ahead**. In: R. Bailey (Ed.). Global warming and other eco-myths. pp. 29-60. Competitive Enterprise Institute, Roseville, EUA.
- CARVALHO JÚNIOR, O. A.; SAMPAIO, C. S.; SILVA, N. C.; COUTO JÚNIOR, A. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO, A. P. F.; SHIMABUKURO, Y. E. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODLS no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.26 n.4, São Paulo, Oct./Dec. 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2008000400010>.
- CARVALHO, Fábio Martins Vilar de et al. Padrões de autocorrelação espacial de índices de vegetação MODIS no bioma cerrado. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 32, n. 2, p.279-290, abr. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622008000200011>.
- CASTRO, A.; MARTINS, F. R.; TAMASHIRO, J. Y.; SHEPHERD, G. J. **How rich is the flora of Brazilian cerrados**. Annals of the Missouri Botanical Garden, 86: 192 - 224. 1999.

COELHO JUNIOR, Luiz Moreira et al. Análise longitudinal dos preços do carvão vegetal, no Estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 30, n. 3, p.429-438, jun. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622006000300013>.

EITEN, G. **A Vegetação do Cerrado**. In: PINTO M. N. (Ed.). 2. Ed. Cerrado: caracterização, ocupação e perspectiva. Brasília, DF: Universidade de Brasília, 1993. Cap. 1, p.17-73.

ELACHI, C.; ZYL VAN, J. **Introduction to the physics and techniques of Remote Sensing**. 2nd edition. John Wiley & Sons Inc. Publication, 2006. 552p.

FERREIRA, H. S. et al. **Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto para monitorar o comportamento da vegetação de Caatinga frente às condições climáticas no município de Petrolina - PE**. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 36., 2013, Foz do Iguaçu. Anais... . Foz do Iguaçu: Sbsr, 2013. p. 3082 - 3089. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/>>. Acesso em: 04 jun. 2016.

GIRI, Chandra. Observation and Monitoring of Mangrove Forests Using Remote Sensing: Opportunities and Challenges. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 8, n. 9, p.783-791, 21 set. 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs8090783>.

GUERRA, A. T. Recursos naturais do Brasil. 3 ed., Rio de Janeiro: IBGE, 1980. 220p.

GUJARATI, D.N.; PORTER, D.C. **Econometria Básica**. 5º. ed. Porto Alegre: Amgh Editora Ltda., 2011.

HAIR, J.F. ANDERSON; R.E. TATHAM; R.L. BLACK, W.C., **Análise Multivariada de Dados**. Trad. Adonai Schlup Sant'Anna e Anselmo Chaves Neto. 5a Ed., Porto Alegre: Bookman, 2005.

Instituto Chico Mendes. **Estação Ecológica de Pirapitinga**. Brasília, ICMBIO, 2013. Disponível em: < http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-planos-demanejo/esec_pirapitinga_pm.pdf >. Acesso em: 23 jun. 2015.

JAKOB, A.A.E. **A Krigagem como método de análise de dados demográficos**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 13, Ouro Preto, MG, 2002. Anais..., ABEP, 2002.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604 p.

LAGO, A.A.C. **Estocolmo, Rio, Joanesburgo o Brasil e as três conferências ambientais das Nações Unidas**. Brasília: Funag, 2006.

LI, Yansheng et al. Content-Based High-Resolution Remote Sensing Image Retrieval via Unsupervised Feature Learning and Collaborative Affinity Metric Fusion. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 8, n. 9, p.709-724, 27 ago. 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs8090709>.

LIESENBERG, Veraldo; PONZONI, Flávio Jorge; GALVÃO, Lênio Soares. Análise da dinâmica sazonal e separabilidade espectral de algumas fitofisionomias do cerrado com índices de vegetação dos sensores MODIS/TERRA e AQUA. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 31, n. 2, p.295-305, abr. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622007000200012>.

MACHADO, R. B. et al. **Estimativas de perda de área de Cerrado brasileiro**. Relatório técnico não publicado. Brasília: Conservação Internacional, 2004.

MALARET, E; BARTOLUCCI, L A; LOZANO, D F; ANUTA, P E; MCGILLEM, C D. (1985). **Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper data quality analysis**. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 51, pp. 1407-1416. Sept. 1985.

MARTINS, A. K. E.; MONTEIRO, C. B. **Uso de Geotecnologia para Análise de Fragmentação do Cerrado na Paisagem da sub – bacia do ribeirão Taquaruçu – Grande, Palmas-TO**. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 36., 2013, Foz do Iguaçu. Anais... . Foz do Iguaçu: Sbsr, 2013. p. 3082 - 3089. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/>>. Acesso em: 04 jun. 2016.

MENESES, P. R. et al (Org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento**. Brasília: Cnpq, 2012.

MIRANDA, J. I. Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 425p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucer, 2010.

OLIVEIRA - FILHO, A.T. ; RATTER, J. T. **Vegetation physiognomies and woody flora o the cerrado biome**. In The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical savanna. (P.S. Oliveira; R.J. Marquis, eds.). New York: Columbia University Press. 2002. p. 91-120.

PINHEIRO, E. S.; DURIGAN, G. **Diferenças florísticas e estruturais entre fitofisionomias do cerrado em assis, SP, Brasil**. Revista Árvore, Viçosa, Mg, v. 36, n. 1, p.181-193, 2012. Disponível em: <<http://revistas.cpd.ufv.br/arvoreweb/index.php>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

PINHEIRO, E. S.; DURIGAN, G.. **Geotecnologias aplicadas à análise da dinâmica do cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP**. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. Anais... . Natal: SBSR, 2008. p. 2905 - 2912. Disponível em: <<http://www.inpe.org.br/>>. Acesso em: 04 jun. 2016.

POKORNY, M. **Introduction to Econometrics Hardcover**, July 16, 1987

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010.

QIAO, H. et al. **Classification of Small-Scale Eucalyptus Plantations Based on NDVI Time Series Obtained from Multiple High-Resolution Datasets**. Remote Sensing, [s.l.], v. 8, n. 2,

p.117-137, 5 fev. 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs8020117>. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/journal/remotesensing>>. Acesso em: 12 fev. 2016.

RAFIQUE, Rashid et al. Global and Regional Variability and Change in Terrestrial Ecosystems Net Primary Production and NDVI: A Model-Data Comparison. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 8, n. 3, p.177-193, 25 fev. 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs8030177>.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Fitofisionomia do Bioma Cerrado**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1998, Cap. 3, p. 87-166.

ROCHA, C. H. B. Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar. Juiz de Fora, MG. 2000. 220p.

SILVA, C. R. et al. **Identification and Analysis of Burned Areas in Ecological Stations of Brazilian Cerrado**. Biodiversity Loss In A Changing Planet, [s.l.], p.185-200, 16 nov. 2011. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/24640>.

WANG, R.; CHERKAUER, K.; BOWLING, L. **Corn Response to Climate Stress Detected with Satellite-Based NDVI Time Series**. Remote Sensing, [s.l.], v. 8, n. 4, p.269-291, 23 mar. 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs8040269>. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/journal/remotesensing>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

WOOLDRIDGE, J. M. **Análise da seção transversal e dados do painel**, Hardcover, 2001.

XU, Lili et al. Detecting Different Types of Directional Land Cover Changes Using MODIS NDVI Time Series Dataset. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 8, n. 6, p.495-518, 14 jun. 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs8060495>.

YUAN, Xiuliang et al. Effects of Precipitation Intensity and Temperature on NDVI-Based Grass Change over Northern China during the Period from 1982 to 2011. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 7, n. 8, p.10164-10183, 10 ago. 2015. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs70810164>.