

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE
SISTEMAS AMBIENTAIS

Débora Joana Dutra

**USO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA ANÁLISE DE EVENTOS DE SECA
EM BACIAS HIDROGRÁFICAS:
ESTUDO DE CASO NA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO SERRA AZUL, MG**

Belo Horizonte

2021

Débora Joana Dutra

**USO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA ANÁLISE DE EVENTOS DE SECA
EM BACIAS HIDROGRÁFICAS:
ESTUDO DE CASO NA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO SERRA AZUL, MG**

Versão Final

Dissertação apresentada ao Pós-graduação em
Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais
Universidade Federal de Minas Gerais como
requisito parcial para obtenção do título de
Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas
Ambientais.

Orientador: Marcos Antônio Timbó Elmiro

Belo Horizonte

2021

D978u 2021 Dutra, Débora Joana.
Uso do sensoriamento remoto para análise de eventos de seca em bacias hidrográficas [manuscrito] : estudo de caso na Sub-Bacia do Ribeirão Serra Azul, MG / Débora Joana Dutra. – 2021.
222 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Marcos Antônio Timbó Elmiro.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2021.
Bibliografia: f. 111-124.
Inclui apêndices e anexos.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Secas – Minas Gerais – Teses. 3. Bacias hidrográficas – Minas Gerais – Teses. 4. Sensoriamento remoto – Teses. I. Elmiro, Marcos Antônio Timbó. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Cartografia. III. Título.

CDU: 911.2:519.6(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

**USO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA ANÁLISE DE EVENTOS DE SECA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS:
ESTUDO DE CASO NA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO SERRA AZUL, MG**

DÉBORA JOANA DUTRA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, área de concentração ANÁLISE, MODELAGEM E GESTÃO DE SISTEMAS AMBIENTAIS.

Dr. Marcos Antônio Timbó Elmiro - Orientador
IGC/UFMG

Dr. Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho
DCTA/CEFET-MG

Dr. Marcelo Antonio Nero
IGC/UFMG

Belo Horizonte, 15 de abril de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Antonio Nero, Professor do Magistério Superior**, em 15/04/2021, às 16:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Wagner Goncalves Andrade Coelho, Usuário Externo**, em 15/04/2021, às 16:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Antonio Timbo Elmiro, Professor do Magistério Superior**, em 15/04/2021, às 16:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0665458** e o código CRC **698DCEB4**.

Se queremos um jardim florido, primeiro precisamos aprender a cultivar as flores. Assim, dedico esse trabalho a todos que contribuem para o desenvolvimento da pesquisa científica neste país

AGRADECIMENTOS

Se a vida fosse um livro, cada conquista e pessoas que encontramos na estrada constituem em um capítulo da nossa história. Afinal, vivemos no eterno encontro e desencontro do conhecimento que adquirimos ao longo do nosso caminho.

Realizar o agradecimento de um trabalho, sempre é complexo, pelo fato de que muitas pessoas contribuíram para que hoje eu estivesse nesse ponto da minha linha temporal. Entretanto, para esse presente trabalho, destaco os seguintes agradecimentos:

A Deus e aos mentores espirituais por sempre proteger os meus caminhos.

À família Dutra, em especial meus pais (José e Rosângela) e meus irmãos (Pedro e Lucas) por todo amor, carinho e presença ao longo de toda a minha trajetória acadêmica e profissional.

Ao Prof. Timbó, por toda orientação prestada ao longo desses dois anos de mestrado e principalmente por ter acreditado na minha capacidade de desenvolver o projeto desta referida dissertação. Agradeço a paciência, conselhos e ensinamentos que corroboraram para o início da minha formação como pesquisador.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e concessão da bolsa que possibilitou que me dedicasse exclusivamente a presente pesquisa.

Aos amigos do Programa de Pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, em especial: Nino e Maiume.

A todos os integrantes do grupo de discussão sobre análise e modelagem ambiental, que muitas vezes foram peças fundamentais para que o trabalho fosse realizado da melhor forma possível. As críticas e sugestões apresentadas foram de grande valia para construção da pesquisa. Aqui, deixo um agradecimento especial ao Nino Antonio Camini pelo auxílio prestado na elaboração das figuras 1 e 5 da referida dissertação.

A Cora Alvarenga por toda paciência e dedicação para resolução das questões administrativas do programa de pós-graduação.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Cartografia e Geografia - IGC e da Universidade Federal de Minas Gerais que me receberam de braços abertos durante estes dois anos e colaboraram na minha jornada profissional.

Gostaria de deixar um agradecimento especial a equipe de serviços gerais da instituição, principalmente a Ana e a Rosa, que sempre proporcionam um ambiente limpo e seguro na sala dos alunos para a realização das nossas pesquisas.

A Marina e todos os colegas da sala dos alunos do Programa de Pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais pela atenção e companhia durante o processo de elaboração desse trabalho.

Ao João Victor Gomides (in memoriam), que nos deixou durante o ano de 2020. Presto aqui a minha homenagem a esse eterno membro da família SUSTENTAR/CEFET-MG. Você nos inspirava a acreditar nos nossos sonhos e colocar em prática as nossas ideias. Agradeço por toda convivência durante a graduação.

E a todos os meus amigos de Belo Horizonte e do mundo por estarem sempre presentes.

"Toda chuva nasce prometendo a estiagem e só o tempo faz a lapa abrir e permitir passagem..."
(Bernardo do Espinheiro, O correr da vida embrulha tudo, 2016).

RESUMO GERAL

DUTRA, Débora Joana Dutra. Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para análise de eventos de seca em bacias hidrográficas: estudo de caso na sub-bacia do ribeirão Serra Azul, MG. 2021. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

As pressões antrópicas têm proporcionado diversas ofensivas ao meio ambiente, sendo tema de amplos estudos, como monitoramento de eventos naturais. Neste aspecto, o fenômeno de seca tem obtido destaque em trabalhos internacionais e nacionais, principalmente pelos diversos episódios de escassez hídrica ocorridos no mundo entre os anos de 2014 e 2015. Em Minas Gerais, a bacia do Rio Paraopeba, foi uma das regiões que sofreu com as consequências das pressões sobre o meio ambiente, principalmente associadas à diminuição do volume de água, que ocasionou o decreto Estadual de escassez hídrica na bacia de contribuição e na porção hidrográfica do reservatório Serra Azul durante o ano de 2015. Para buscar entender o evento ocorrido em 2015, o presente trabalho visa analisar a viabilidade de uso do índice de condição de vegetação (ICV) para o monitoramento de seca/estiagem, como forma de subsidiar ações de gestão e monitoramento de regiões que abrigam estação de abastecimento de água. Além disso, buscou-se analisar a ocorrência das diferentes tipologias de seca ao longo da série temporal analisada. O estudo de caso foi realizado na sub-bacia do ribeirão Serra Azul, abrangendo os municípios mineiros de Mateus Leme, Igarapé, Juatuba e Itaúna, e localizado entre os paralelos de 20° 15' e 20° 00' de latitude sul e os meridianos 44° 15' e 44° 35' de longitude oeste. A metodologia aplicada consistiu em duas etapas, sendo elas: análise do período de seca e eficácia do índice de condição de vegetação para monitoramento do fenômeno. Em relação à análise da abrangência do evento na região de estudo, utilizou-se de análises estatísticas para a seleção do melhor índice de vegetação para caracterização da extensão do evento. Os dados da série temporal analisada (2013-2018) foram organizados conforme a estação do ano para o cálculo do ICV, sendo eles classificados de acordo com a metodologia proposta pelo criador do índice. Para medir a eficácia do índice para o monitoramento das diferentes categorias de seca, separou-se a etapa em quatro partes: seca meteorológica, hidrológica, agrícola e socioambiental. Além disso, utilizou-se de técnicas de correlação para verificar se o índice corrobora para os resultados encontrados nas metodologias aplicadas. Os resultados permitiram identificar que, dentro dos produtos do sensor MODIS, o NDVI é o melhor índice para ser utilizado para caracterização da seca da região de estudo. Em relação à seca meteorológica, foi possível

identificar que os resultados de ICV corroboram com os dados apresentados em relatórios climáticos oficiais do INPE e do INMET. Além disso, foi possível identificar que eventos externos auxiliaram no agravamento do evento entre os anos de 2014 e 2015. Em relação a seca hidrológica, verificou-se que o ICV apresenta uma correlação moderadamente forte com os dados de gravidade de seca e umidade relativa do solo. Por fim, a análise de seca hidrológica e socioambiental permitiu analisar que, à medida que ocorre o agravamento do fenômeno na região de estudo, menor a quantidade de biomassa florestal nas áreas agropecuárias e do volume do reservatório de abastecimento de água da região. Conclui-se que o presente trabalho obteve resultados que podem auxiliar em futuros estudos sobre a temática, bem como na implementação de sistemas e planejamento de ações para o enfrentamento das consequências desse evento. Além disso, sugere-se para estudos futuros a aplicação de modelos de uso do solo e climatológicos, para análise e prevenção do evento para os próximos anos. Para uma maior eficiência do processo, sugere-se a análise local por meio de visitas de campo, para uma melhor precisão e identificação local da seca na região de estudo.

Palavras chaves: índice de condição de vegetação; seca; índice de vegetação; MODIS

GENERAL ABSTRACT

DUTRA, Débora Joana Dutra. Use of remote sensing techniques to analyze drought events in stream basins: a case study in Serra Azul stream subbasin, MG. 2021. Dissertation (Master's in Analysis and Modeling of Environmental Systems) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

Land use changes arising mainly from anthropic influence cause several environmental pressures, being associated with several environmental studies, such as monitoring natural resources. In this regard, drought phenomenon has been highlighted in international and national studies, mainly due to world water scarcity several episodes occurred between 2014 and 2015. In Minas Gerais state, Paraopeba River Basin suffered consequences from pressures on environment, mainly associated with water volume decrease, which caused water scarcity State Decree in portion of Serra Azul reservoir during 2015. The objective this work is to analyze possibility of using vegetation condition index (VCI) to drought monitor, as form to subsidize management and monitoring actions in water supply station. In addition, we analyze the occurrence of drought different types over analyze time series. The case study was realized in Serra Azul subbasin, covering Mateus Leme, Igarapé, Juatuba and Itaúna cities, and located between 20° 15' and 20° 00' south latitude parallels and 44° 15' and 44° 35' west longitude meridians. The methodology consisted of two stages: drought analysis period and vegetation condition index effectiveness for phenomenon monitoring. The event scope analysis in study region, we used statistical analysis to select the best vegetation index to characterize event extent. The analyzed time series (2013-2018) was organized according to season of year for VCI calculation, we classified according to methodology proposed by index creator. To measure index effectiveness for monitoring different drought categories, the stages was divided into four parts: meteorological, hydrological, agricultural and socioenvironmental drought. In addition, we used correlation technique to verify if index explains results found in applied methodologies. The results allowed to identify, within MODIS sensor products, NDVI is the best index to region drought characterize. In meteorological drought, VCI results explain the data reported in official climate reports from INPE and INMET. In addition, external events helped to event aggravate between 2014 and 2015. In relation the hydrological drought, we found moderately strong VCI correlation with data on drought and relative soil severity. Finally, the hydrological and socioenvironmental drought results allowed to analyze, as phenomenon worsens in study region, forest biomass in agricultural areas and region's water supply reservoir

decreases volume. We obtained results can help in future studies on theme, assisting in systems implementation and actions planning to analyzes events consequences. In addition, we suggested for future studies land use and climatological models' application, for analysis and event prevention next years. For greater process efficiency, we suggested local analysis is through field visits, for greater precision and identification of drought mapping in study region.

Keywords: vegetation condition index; drought; vegetation index; MODIS

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação simplificada do ciclo da água	26
Figura 2. Totais de registros dos desastres naturais mais recorrentes no Brasil, no período de 1991 a 2012.	28
Figura 3. Sequência de ocorrência dos diferentes tipos de seca e seus impactos.....	32
Figura 4. Componentes do ciclo hidrológico relevantes no processo de estiagem que podem ser estimados por satélites de sensoriamento remoto.....	36
Figura 5 - Variação do vigor vegetativo a partir do aumento da precipitação em uma formação vegetal.....	37
Figura 6 - Localização da sub-bacia do ribeirão Serra Azul	40
Figura 7 - Hidrografia da sub-bacia do ribeirão Serra Azul	41
Figura 8 - Reservatório Serra Azul (COPASA)	41
Figura 9 - Perfil longitudinal do ribeirão Serra Azul/Juatuba	42
Figura 10 - Uso do solo na região da Sub-bacia do Ribeirão Serra Azul.....	44
Figura 11 - Variação do uso do solo na Sub-bacia do Ribeirão Serra Azul, com a presença dos seguintes pontos: 1 (reservatório Serra Azul); 2, 5 e 4 (área florestal); 3 e 8 (área urbana); 6 (agropecuária); e 7 (área de mineração), onde as áreas em verde correspondem a regiões de vegetação e as amareladas de não -floresta	45
Figura 12 - Fluxograma metodológico para o cálculo do ICV	46
Figura 13 - Fluxograma de obtenção dos dados do sensor MODIS	47
Figura 14- Fluxograma do cálculo do Teste de Cox-Stuart (COX; STUART, 1955).....	48
Figura 15 - Localização das estações da ANA e do INMET utilizadas na área de estudo.....	49
Figura 16 - Fluxograma da correlação de Pearson	51
Figura 17 -Fluxograma para análise do período de seca e estiagem	55
Figura 18 - Fluxograma de cálculo do IGS	56
Figura 19 - Imóveis rurais presentes ao longo da sub-bacia do ribeirão Serra Azul.....	59
Figura 20 - Diagrama da construção do modelo de SIG para geração de mapa com o potencial de biomassa	60
Figura 21 - Variação sazonal da média de NDVI ao longo das estações do ano no período de estudo (2013 - 2018).....	69
Figura 22 - Variação do ICV médio e da temperatura do ar (° C) para cada estação do ano, onde (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera.....	75

Figura 23 - Extensão de seca severa para cada estação ao longo da variação de temperatura do ar, onde (a)Verão, (b) Outono, (c) Inverno, (d) Primavera	76
Figura 24 - Extensão de seca extrema para cada estação ao longo da variação da temperatura do ar, onde (a)Verão, (b) Outono, (c) Inverno, (d) Primavera	76
Figura 25 - Variação do ICV médio e evapotranspiração para cada estação do ano, onde (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera	78
Figura 26 - Extensão de seca severa para cada estação ao longo da variação da evapotranspiração, onde (a)Verão, (b) Outono, (c) Inverno, (d) Primavera	78
Figura 27 - Extensão de seca extrema para cada estação ao longo da evapotranspiração, onde (a)Verão, (b) Outono, (c) Inverno, (d) Primavera	79
Figura 28 - Variação do ICV médio e umidade para cada estação do ano, onde (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera.....	80
Figura 29 - Extensão de seca severa para cada estação ao longo da variação da umidade, onde (a)Verão, (b) Outono, (c) Inverno, (d) Primavera	81
Figura 30 - Extensão de seca extrema para cada estação ao longo da variação da umidade, onde (a)Verão, (b) Outono, (c) Inverno, (d) Primavera	81
Figura 31 - Variação do ICV médio e da precipitação total (mm) para cada estação do ano, onde (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera.....	83
Figura 32 - Extensão de seca severa para cada estação com os acúmulos de precipitação, onde (a)Verão, (b) Outono, (c) Inverno, (d) Primavera	85
Figura 33 - Extensão de seca extrema para cada estação com os acúmulos de precipitação, onde (a)Verão, (b) Outono, (c) Inverno, (d) Primavera	85
Figura 34 - Gráfico das relações entre o ICV e o PAP para todo tempo de estudo analisado de acordo com a localização de cada estação pluviométrica e meteorológica presente na região	86
Figura 35 - Gráfico das relações entre o ICV e o IGS para todo tempo de estudo analisado de acordo com a localização de cada estação pluviométrica e meteorológica presente na região	88
Figura 36 - Variação do histograma das análises de gravidade da seca por meio da aplicação do IGS.....	90
Figura 37 - Valores médio de IGS ao longo das estações do ano da série temporal analisada ao longo da área de abrangência das classes de ICV na sub-bacia do ribeirão Serra Azul.....	91
Figura 38 - Gráfico das relações entre o ICV e o URS para todo tempo de estudo analisado de acordo com a localização de cada estação pluviométrica e meteorológica presente na região	92

Figura 39 - Variação do histograma das análises de gravidade da seca por meio da aplicação do IUS.....	94
Figura 40 - Valores médio de URS ao longo das estações do ano da série temporal analisada ao longo da área de abrangência das classes de ICV na sub-bacia do ribeirão Serra Azul.....	95
Figura 41 - Variação do uso do solo ao longo da série temporal analisada e as respectivas variações médias de biomassa nos imóveis rurais.....	98
Figura 42 - Variação do uso do solo e valores médios de biomassa ao longo da série temporal analisada nas áreas de abrangência dos imóveis rurais na sub-bacia do ribeirão Serra Azul...	99
Figura 43 - Gráfico das relações entre o ICV e a biomassa anual para todo tempo de estudo ao longo de todos os imóveis rurais presentes na região de estudo	99
Figura 44 - Gráfico das relações entre o ICV e a variação da biomassa para todo tempo de estudo ao longo de todas as classes presentes nos imóveis rurais da região de estudo, onde (a) classe floresta, (b) campos campestres, (c) agricultura e (d) pastagens	100
Figura 45 - Variação do balanço hídrico e do armazenamento máximo da bacia ao longo da área de estudo	102
Figura 46 - Relação entre o balanço hídrico da sub-bacia e a biomassa florestal produzida na região de estudo ao longo da série temporal analisada.....	103
Figura 47 - Variação da biomassa florestal e do balanço hídrico da região de estudo ao longo da série temporal estudada para sub-bacia do ribeirão Serra Azul.....	104
Figura 48 – Correlação entre os dados anuais de ICV e porcentagem do volume de água do reservatório Serra Azul.....	105
Figura 49 – Classificação de ICV para o reservatório Serra Azul nas estações de seca (Outono e Inverno).....	106
Figura 50 - Relação entre o volume de água consumido e a porcentagem do volume do Reservatório Serra Azul.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estações meteorológicas	50
Tabela 2 - Estações pluviométricas	50
Tabela 3 - Classificação do coeficiente de Pearson.....	52
Tabela 4 - Estações do ano e respectivos dias julianos (escala contínua dos dias do ano) e gregorianos das imagens referentes aos índices de vegetação do sensor MODIS.	53
Tabela 5 - Intervalos de classes dos valores do Índice de Condição da Vegetação (ICV) e sua correspondente classificação.	54
Tabela 6 - Lista de dados, nome de variáveis (na estrutura de dados) e unidades do projeto 3B43	57
Tabela 7 - Reclassificação e pesos das classes de declividade para região de estudo.....	61
Tabela 8 - Reclassificação e pesos das classes de topografia para região de estudo.....	61
Tabela 9 - Reclassificação e pesos das classes de tipo de solo para região de estudo	62
Tabela 10 - Reclassificação e pesos das classes de fertilidade para região de estudo.....	62
Tabela 11 - Reclassificação e pesos das classes de precipitação para região de estudo.....	62
Tabela 12 - Reclassificação e pesos das classes de ICMW para região de estudo.....	64
Tabela 13 - Análise das hipóteses do Teste de Cox-Stuart para os índices de vegetação do sensor MODIS	68
Tabela 14 - Correlação entre os valores médios de NDVI e as variáveis meteorológicas para o período de 2013 a 2018 por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r).....	69
Tabela 15 - Correlação entre os valores médios de EVI e as variáveis meteorológicas para o período de 2013 a 2018 por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r).....	69
Tabela 16 - Dimensões em hectares e porcentagem das classes de seca do Índice de Condição de Vegetação para cada estação do ano no período de 2013 a 2018	71
Tabela 17 - Correlação entre os dados meteorológicos e o índice de condição de vegetação ao longo da série temporal analisada (2013-2018).....	73
Tabela 18 - Biomassa média anual ao longo de cada área de classificação de seca	101
Tabela 19 - Área das seis classes de uso do solo, em hectares, de acordo com a reclassificação dos dados do MAPBIOMAS utilizados para elaboração do uso do solo da região	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas
ASAS - Alta Subtropical do Atlântico Sul
CAR - Cadastro Ambiental Rural
CL - Calor Latente
COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CPL - Calor Potencial Latente
EVI - Índice de Vegetação Melhorado
HDF - *Hierarchical Data Format*
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMW - Índice Climático Modificado de Weck
ICV - Índice de Condição de Vegetação
IGS - Índice de Gravidade da Seca
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
IPB - Índice de Potencial de Biomassa
IUS - Índice de Umidade do Solo
LPDAAC - *Land Processes Distributed Active Archive Center*
LS - Análise de Mínimos Quadrados
MODIS - *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*
NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration
NPL - Produção Primária Líquida
ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
PAP - Porcentagem de Anomalia de Precipitação
SICAR - Sistema de Cadastro Ambiental Rural
SNIF - Sistema Nacional de Informações Florestais
SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TCI - Índice de Condição de Temperatura
TIFF - *Tagged Image File Format*
TRMM - *Tropical Rainfall Measuring Mission*
URS - Umidade Relativa do Solo
USGS - Serviço Geológico Americano
UTM - Universal Transversa de Mercator

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCOU - Zonas de Convergência de Umidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	OBJETIVOS.....	23
2.1	Objetivo Geral.....	23
2.2	Objetivos Específicos	23
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
3.1	Seca e estiagem.....	24
3.2	Influência da seca no ciclo hidrológico	25
3.3	Influência do uso do solo na intensificação da seca	27
3.4	Ocorrência de seca	28
3.5	Tipos de seca.....	30
3.6	Estatística aplicada à análise de séries temporais	33
3.6.1	Teste de Cox-Stuart	34
3.7	Sensoriamento remoto aplicado à análise de seca	35
3.8	Índice de vegetação da diferença normalizado (NDVI) e índice de vegetação melhorado (EVI)	38
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	40
4.1	Hidrografia.....	40
4.2	Condições climáticas do local.....	42
4.3	Vegetação.....	43
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
5.1	Análise do período de seca e estiagem	46
5.1.1	Obtenção dos dados do sensor MODIS	46
5.1.2	Análise da série temporal dos índices de vegetação: teste de Cox-Stuart	48
5.1.3	Processamento dos dados meteorológicos.....	49
5.1.4	Correlação entre os dados meteorológicos e os índices NDVI e EVI.....	50
5.1.5	Organização dos dados por estação do ano	52

5.1.6	Cálculo do índice de condição de vegetação (ICV)	53
5.2	Eficácia do ICV para o monitoramento de diferentes tipos de secas em uma bacia hidrográfica	54
5.2.1	Análises de seca meteorológica e hidrológica	55
5.2.2	Análise de seca agrícola	59
5.2.3	Análise de seca socioambiental	64
5.2.4	Análise de regressão para identificação da intensidade da seca ao longo da região de estudo.....	67
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
6.1	Seleção do índice de vegetação.....	68
6.2	Análise do período de seca e estiagem na bacia do Ribeirão Serra Azul	71
6.3	Eficácia do ICV para o monitoramento de diferentes tipos de secas na bacia hidrográfica do Ribeirão Serra Azul	73
6.3.1	Seca Meteorológica	73
6.3.2	Seca Hidrológica.....	87
6.3.3	Seca Agrícola e Socioambiental	96
7	CONCLUSÕES	109
	REFERÊNCIAS	111
	APÊNDICES	125
	ANEXOS	147

1 INTRODUÇÃO

O comportamento atual da sociedade moderna tem ocasionado diversas pressões sobre o meio ambiente, decorrentes da alta demanda de energia, atividades agropastoris e do uso dos recursos hídricos provocados pela aceleração da taxa de urbanização e de crescimento econômico das cidades. Essas pressões têm sido tema de diversos estudos, sendo eles aplicados na relação entre a população e uso do solo (BRIASSOULIS, 2019), cenários futuros e impactos hidrográficos (BOONGALING; ESLAVA; LANSIGAN, 2018), eventos naturais e qualidade da água (SHEN *et al.*, 2015) e conservação de biomas, tais como Cerrado e Mata Atlântica (MELLO; TOPPA; LEITE, 2016).

Um dos principais resultados oriundos dessas demandas são as alterações na dinâmica florestal, que podem ocasionar episódios de seca e de escassez hídrica em uma bacia hidrográfica. Neste aspecto, esse fenômeno pode ocasionar problemas econômicos, sociais e ambientais na população, sendo foco de estudos em diversas regiões do mundo, como na Europa Central e Oriental (VAN LANEN *et al.*, 2016); Ásia (BANIYA *et al.*, 2019); Oceania (BEECHAM; RAZZAGHMANESH, 2015); América do Norte (UTTARUK; LAOSUWAN, 2017); e América do Sul (GOMES; BERNARDO; ALCÂNTARA, 2017).

Neste aspecto, em 2015, uma parte da região metropolitana de Belo Horizonte, pertencente à bacia do Rio Paraopeba, foi uma das regiões que sofreu consequências das pressões sobre o meio ambiente, principalmente associadas à diminuição do volume de água. De acordo com Minas Gerais (2015), em abril de 2015 a região decretou estado de escassez hídrica na bacia de contribuição e na porção hidrográfica do reservatório Serra Azul, pois os reservatórios da região atingiram o volume mínimo da sua capacidade de armazenamento.

A literatura identifica que existem diversos fatores que podem ocasionar episódios de seca em uma região, sendo necessário o estudo constante das variáveis que abrangem esse evento. Dessa forma, tem se tornado cada vez mais importante a conservação dos recursos naturais degradados pela má ocupação do solo e pelo uso inadequado dos recursos ambientais. Por meio dessa visão, as práticas de conservação do solo, os métodos de avaliação de perda de solo e de impactos ambientais têm se tornado grandes aliados para um bom planejamento agroambiental (MELO; SALES; OLIVEIRA, 2011).

Nesse sentido, para atender a essa demanda e solucionar a pressão causada pela expansão das atividades econômicas, assim como a decorrente competição por esses recursos, é essencial a adoção de políticas baseadas em estudos que integrem aspectos tanto ambientais quanto sociais e econômicos. Para que essas políticas ocorram torna-se necessária a elaboração

de informações e de sistemas que possam auxiliar na articulação e geração de subsídios para possíveis intervenções. Atualmente, diversos modelos matemáticos e técnicas de geoprocessamento têm servido como amparo para essas ações por meio da análise, monitoramento e simulação de condições que poderiam ocorrer em uma determinada região (MENDES; CIRILO, 2013).

2 OBJETIVOS

No contexto das questões apresentadas nas discussões introdutórias e visando somar contribuições ao fortalecimento do conjunto geral das soluções necessárias ao enfrentamento desses graves problemas que impactam o ambiente, prejudicando a sociedade organizada, foram emoldurados e definidos os objetivos gerais e específicos a serem buscados no presente trabalho.

2.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade de uso do índice de condição de vegetação para o monitoramento de seca na região da Sub-bacia do Ribeirão Serra Azul, no período de 2013 a 2018, como forma de subsidiar ações de gestão e monitoramento de regiões que abrigam estação de abastecimento de água.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o potencial do sensor MODIS na caracterização de eventos de seca e estiagem através do uso de técnicas de sensoriamento remoto;
- Caracterizar a severidade do evento de seca/estiagem por meio do uso do índice de condição de vegetação;
- Utilizar o índice de condição de vegetação para descrever a umidade regional em relação à precipitação e umidade do solo buscando analisar a ocorrência de seca hidrológica da região;
- Verificar a ocorrência de seca meteorológica por meio de análises de correlação entre os índices estudados e dados das estações pluviométricas presentes na região de estudo;
- Realizar uma análise comparativa entre os índices utilizados para verificar a sua contribuição em estudos de abastecimento de água e verificar possíveis impactos socioambientais; e
- Verificar se a seca ocorrida na região é oriunda de eventos naturais ou se as ações antrópicas agravaram a situação do evento de crise hídrica na região.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Realizou-se a elaboração de uma fundamentação teórica com conceitos básicos para um melhor entendimento da dissertação. Para isso, os tópicos foram separados em: conceito geral de seca e estiagem; influência da seca no ciclo hidrológico; influência do uso do solo na intensificação da seca; ocorrências de seca; tipos de seca; estatística aplicada à análise de séries temporais; sensoriamento remoto aplicado a análise de seca; e Índice de vegetação da diferença normalizado (NDVI) e índice de vegetação melhorado (EVI).

3.1 Seca e estiagem

A seca é resultado de uma redução da precipitação natural recebida por uma região em um determinado período. Ela pode estar diretamente associada a outros fatores climáticos como altas temperaturas, ventos fortes e baixa umidade (WILHITE e SVOBODA, 2000). Esse evento é bastante complexo, pois está muito associado ao ciclo hidrológico. Isso se deve ao fato desse fenômeno ser dependente de fatores ambientais de entrada e saída de água, tais como evapotranspiração, precipitação, umidade do solo e águas subterrâneas. Nesse processo, a vegetação é uma das principais afetadas pela seca, devido ao fato desse fenômeno atingir a produção primária líquida (NPL), que influencia na biomassa terrestre (RAO *et al.*, 2017; WU *et al.*, 2016). Este é um fenômeno que ocorre em várias regiões do mundo, apresentando-se de forma recorrente em quase todos os tipos de regimes climáticos e tem por característica a temporariedade, se diferenciando da aridez, a qual é um fenômeno característico do clima, e que tem por característica ser permanente e restrita às áreas de baixa pluviosidade (WILHITE, 1992; WILHITE e SVOBODA, 2000).

No Brasil a seca pode ser dividida conforme a intensidade do evento. Dessa forma, utilizam-se oficialmente dois termos: seca e estiagem. Os eventos acontecem em regiões que observam ao longo de uma escala temporal a ausência de chuvas que provoque um desequilíbrio hidrológico na região. A estiagem se caracteriza como um período prolongado de pouca pluviosidade, onde a perda de umidade do solo é maior que a sua reposição. Já a seca é o agravamento da estiagem, onde o período de falta de chuva se agrava a ponto de ocasionar sérios desequilíbrios ecológicos em uma região, como a redução intensa e contínua de reservas hídricas existentes (BRASIL, 2012; CASTRO; PEIXOTO; RIO, 2005; SAUSEN; LACRUZ, 2015).

Um das maiores dificuldades de se estudar o fenômeno da seca é determinar o seu início e o seu fim. Isso acontece pelo fato da seca se diferir de outros fenômenos naturais. A seca pode ser caracterizada como um fenômeno insidioso, ou seja, possui a capacidade de se

acumular lentamente ao longo de um período e pode influenciar eventos após o seu término (TANNEHILL, 1947).

Apesar da dificuldade apresentada, autores como Castro, Peixoto e Rio (2005) relatam alguns fatores que possibilitam a definição dos dois fenômenos. Segundo eles, a estiagem pode ser definida quando ocorre um atraso da temporada de chuvas, em uma determinada região, que seja superior a quinze dias. Além disso, pode ser identificada quando as médias pluviométricas dos chamados meses chuvosos alcançam limites inferiores a 60% das médias mensais de longo período para a mesma região. A seca é definida como o agravamento da estiagem que provoque um cenário de desastre, onde a redução das reservas hídricas ocasionam mudanças no sistema ecológico, econômico, social e cultural que dependem da precipitação.

É importante ressaltar que cada ano de seca possui características específicas, podendo ocasionar impactos diferente de fenômenos anteriores. Isso se deve às características momentâneas do local, como estação do ano de ocorrência, atraso do início do período chuvoso, intensidade de chuva, quantidade de chuvas e outros (WILHITE; SVOBODA, 2000).

3.2 Influência da seca no ciclo hidrológico

A superfície terrestre possui, ao longo de seu ciclo hidrológico, um volume de água estimado de $1.4 \times 10^{18} \text{ m}^3$. Desse total, 97% da água se encontra nos oceanos e 3% na forma de água doce. Em relação à água doce, 77.2% se encontra na forma sólida como calotas polares, 22.4% como águas subterrâneas e 0.4% como rios, lagos e vapor atmosférico (LIMA, 2008).

O ciclo hidrológico consiste no estudo do comportamento natural da água em relação à sua ocorrência, transformações e relações com as atividades antrópicas, Figura 1. Ele pode ser classificado por meio de dois processos, sendo eles denominados como determinísticos e estocásticos. É importante ressaltar que apesar da literatura apresentar essa separação no ciclo hidrológico, normalmente esses processos são estudados em conjunto (NAGHETTINI; PINTO, 2007; VILLELA; MATTOS, 1975).

O ciclo não apresenta um início e um fim. Nesse processo a água é evaporada dos oceanos e da superfície continental e se adere à atmosfera. Posteriormente, a umidade atmosférica se transforma em precipitação e é derramada nas regiões superficiais e oceânicas. Além disso, durante o processo de precipitação, a vegetação pode interceptar a água através da superfície do terreno, sendo absorvida pelas plantas por meio da sua infiltração no solo. Esse ciclo envolve vários processos hidrológicos, como evaporação, precipitação, interceptação, transpiração, infiltração, percolação, escoamento superficial e outros (LIMA, 2008; VILLELA; MATTOS, 1975).

Figura 1 - Representação simplificada do ciclo da água



Fonte: Elaborado por Nino Antonio Camini

Os processos determinísticos são aqueles que são resultantes das leis da física, química ou biologia. Esses processos não ocorrem, na grande maioria das vezes, de forma isolada e podem ser explicados por um número limitado de variáveis, por meio de análises experimentais. Dentro da hidrologia, grande parte dos processos do ciclo da água são considerados estocásticos, ou seja, associado a leis de probabilidade. Isso acontece pelo fato dessas variáveis estarem associadas à regularidade aleatória de ocorrência desses eventos. Dessa forma, dentro do espaço geográfico a precipitação, evapotranspiração e escoamento superficial podem ser considerados como processos hidrológicos estocásticos. No aspecto determinístico, as análises do ciclo hidrológico constituem as análises temporais e espaciais, como velocidade, comportamento hidráulico, direção do fluxo e taxa de infiltração. Assim, os estudos desses processos se tornam interessantes dentro do campo da hidrologia, quando estudados conjuntamente (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

A seca é um dos processos naturais que mais são afetados pelas mudanças do clima, pois interfere principalmente no ciclo hidrológico. Esse processo pode ocasionar processos de escassez hídrica em vários locais, como o registrado em 2015 na Europa Central e Oriental. Esses problemas têm causado diversas dúvidas dentro do campo acadêmico, como até onde o

extremo desse evento pode prejudicar o ciclo hidrológico e como os impactos oriundos desse processo podem ser mitigados ou gerenciados (VAN LANEN *et al.*, 2016).

Dentro desse aspecto, diversos estudos demonstram que a seca interfere no espaço-temporal por meio de alterações nas variáveis que constituem o ciclo hidrológico. A principal influência da seca se dá por meio da diminuição da quantidade de água que entra no ciclo para suprir a necessidade de um determinado ambiente. Um dos grandes desafios atuais para a identificação dos impactos desse fenômeno é a aplicação de técnicas que consigam identificar a sua influência dentro do processo hidrológico. Dessa forma, a previsão de seca é um componente crítico dentro do ciclo da água (CHANGNON *et al.*, 2000; MISHRA; SINGH, 2010).

3.3 Influência do uso do solo na intensificação da seca

As mudanças na paisagem estão bastante presentes na relação entre a população e uso do solo, sendo elas associadas a questões de valores socioculturais, tecnologia, economia e problemas ambientais. Essa problematização tem sido expressa em diversas questões científicas desde os tempos mais antigos da humanidade, principalmente quando associados à vulnerabilidade da terra e do meio ambiente (BRIASSOULIS, 2019).

Normalmente as questões que envolvem o uso da terra são consideradas de escala local. Entretanto, devido às mudanças atreladas ao desmatamento, expansão agrícola e uso de recursos hídricos alguns usos da terra são os principais causadores de efeitos climáticos e mudanças em escala regional como perda da biodiversidade. Dentro do espectro climático, as mudanças do uso da terra influenciam nessas alterações por meio dos efeitos na radiação líquida dos objetos na superfície terrestre, principalmente no processo de difusão da energia em calor no processo do ciclo hidrológico. Isso causa alterações na precipitação, disponibilidade de água no solo, escoamento e evapotranspiração, sendo seu principal causador a supressão da vegetação para expansão de áreas urbanas. Entretanto, apesar de vários estudos identificarem essa influência, ainda existem diversas incertezas sobre as influências futuras dos fatores socioambientais e de uso da terra na disponibilidade de serviços ecossistêmicos, principalmente associados aos fatores climáticos (FOLEY *et al.*, 2005; POPP *et al.*, 2017).

Visto que a seca é um fenômeno hidrometeorológico é provável que esses eventos se tornem mais intensos à medida que ocorrem mudanças no uso da terra. Para isso, o monitoramento constante do evento é fundamental para a criação de medidas mitigadoras. Neste aspecto, as tecnologias, como o sensoriamento remoto, permitiram a observação e a criação de estimativas, por meio de análises estatísticas e geoespaciais. Através dessas

informações, tornou-se possível identificar a relação entre o uso do solo e variáveis ambientais. Atualmente ainda existem diversos desafios relativos ao uso dessas informações dentro da comunidade científica, principalmente em relação à escala temporal e à resolução espacial dos dados disponibilizados (ANDERSON *et al.*, 2016; WEST; QUINN; HORSWELL, 2019).

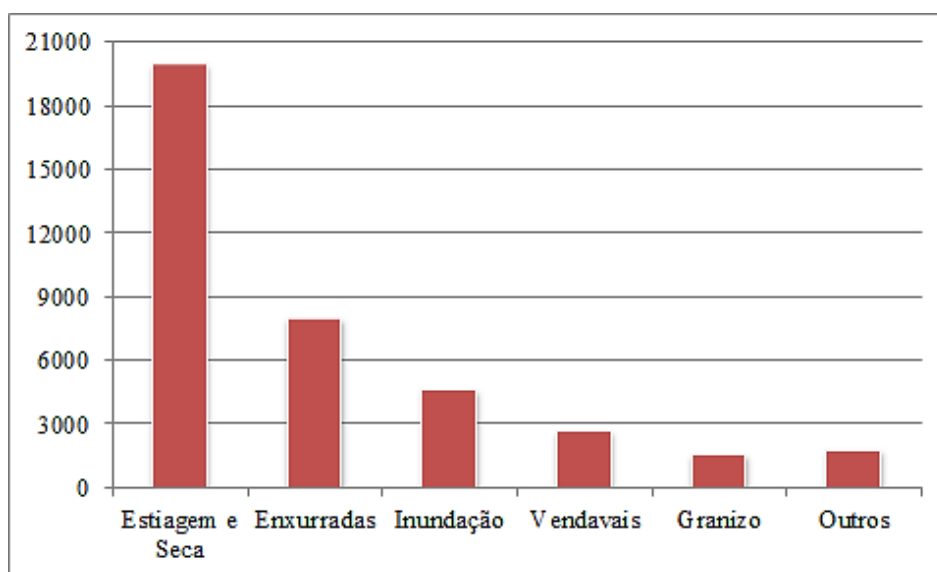
3.4 Ocorrência de seca

O Brasil já passou por inúmeros eventos de seca que causaram vários impactos sociais, ambientais e econômicos. Visto que o país é um dos maiores exportadores de soja, milho, trigo e algodão, esse fenômeno passou a ter interesse científico e governamental na forma de entender suas causas, realizar o monitoramento do ambiente e elaborar políticas para a mitigação das suas consequências (ANDERSON *et al.*, 2015).

As regiões Sudeste e Sul do Brasil se caracterizam pela atuação do fenômeno de estiagem. Já na região Nordeste é mais frequente o agravamento desse fenômeno ocasionando as chamadas secas. O aparecimento destas ocasiona inúmeros danos às populações e afeta de forma significativa a economia (SAUSEN; LACRUZ, 2015).

A ocorrência de seca e estiagem no país vem aumentando ao longo do tempo. Segundo UFSC (2013b), entre os anos de 1991 e 2012 esse fenômeno foi uma das principais causas de desastres naturais do Brasil (Anexo A e Figura 2). O estudo registrou que 30% das ocorrências aconteceram nos primeiros onze anos e 70% nos demais. É possível identificar que grande parte desse fenômeno se concentra na Região Nordeste do país e no Norte de Minas Gerais, além de uma parte da Região Sul do país.

Figura 2. Totais de registros dos desastres naturais mais recorrentes no Brasil, no período de 1991 a 2012.



Fonte: Adaptado de (UFSC, 2013b)

No Brasil, principalmente na Região Sul, é comum a presença de um fenômeno denominado como veranico, que auxilia no aparecimento de seca e estiagem, bem como na intensificação desse fenômeno em uma determinada região. Isso se deve ao fato desse processo ser caracterizado pelo calor intenso, acompanhado de forte insolação e baixa umidade relativa durante os períodos de chuva (ROLDÃO, 2015).

Na Região sul do Brasil, estudos como o de Jacondino, Conrado e Nascimento (2018), identificaram que a intensidade do veranico varia ao longo da sazonalidade, principalmente no período seco (entre os meses de maio a setembro). De acordo com esse trabalho, a magnitude do evento varia de acordo com a presença de outros fatores meteorológicos, como a passagem de anticiclones no Oceano Atlântico, a presença de centros de altas pressões e a estagnação de massa de ar quente e seca. A presença desse fenômeno mostrou a necessidade de análises climatológicas e de estudos científicos, como os de Magalhães *et al.* (2019), que buscam estabelecer cenários futuros de atuação do fenômeno por meio de modelagem ambiental para verificação de possíveis impactos climatológicos em uma região.

A Região Sudeste, de acordo com Marengo *et al.* (2015), apresenta um ciclo anual de precipitação bem definido, com um período chuvoso máximo entre os meses de dezembro e fevereiro (verão) e um período seco, com valores mínimos de chuva, entre os meses de junho e agosto (inverno). Entretanto, é importante ressaltar que apesar do ciclo de precipitação bem definido, alguns fatores externos, como movimento de massas de ar, podem auxiliar no atraso ou adiantamento das temporadas de chuvas na Região Sudeste. Dessa forma, é sempre importante acompanhar os relatórios climatológicos oficiais para verificação das temporadas anuais de chuva e de seca em uma determinada região de estudo pelo fato que aspectos locais e externos podem influenciar na permanência do fenômeno. Segundo Coelho, Cardoso e Firpo (2016), entre os verões de 2013/2014 e 2014/2015 a região sofreu importantes déficits de precipitação que ocasionou o fenômeno de seca e uma consequente crise hídrica. A seca ocasionou vários impactos na sociedade, incluindo o comprometimento do abastecimento de água para a população. De acordo com UFSC (2013a), no Estado de Minas Gerais os registros de seca ocorrem principalmente ao Norte enquanto nas demais regiões ocorrem o fenômeno de estiagem (Anexo B).

3.5 Tipos de seca

Existem diversos fatores que influenciam na severidade de uma seca que vão além da sua intensidade, duração ou extensão espacial. É importante ressaltar que as atividades antrópicas e a quantidade de vegetação presentes em uma região podem influenciar na quantidade de água ali presente (BOKEN; CRACKNELL; HEATHCOTE, 2005; DRACUP; LEE; PAULSON JUNIOR, 1980; WILHITE; GLANTZ, 1985; WILHITE; SVOBODA, 2000; WMO, 1975).

De forma geral, a seca pode ser classificada nos seguintes tipos: meteorológica, agrícola, hidrológica, socioeconômica ou qualquer combinação dessas categorias. A seca meteorológica varia de acordo com a localidade ou região e pode estar presente em todas as regiões climáticas da Terra. A classificação ocorre somente pelos dados de precipitação de um período determinado. Dessa forma, esse tipo de seca acontece quando a quantidade de precipitação ocorre abaixo do esperado para a faixa de tempo analisada (FERNANDES *et al.*, 2009; MACKEE; DOESKEN; KLEIST, 1993; SAUSEN; LACRUZ, 2015).

A seca agrícola ocorre em relação à disponibilidade hídrica para o desenvolvimento de culturas. Ela está diretamente relacionada com a combinação das secas meteorológicas e hidrológicas. Normalmente esse processo ocorre quando o solo não dispõe de recurso hídrico necessário para o crescimento da vegetação. Entretanto, é importante ressaltar que não há uma relação direta entre a quantidade de precipitação e a taxa de infiltração do solo. A taxa de infiltração do solo dependerá das condições de umidade, tipo de solo e da intensidade de chuva. Além disso, a umidade de um solo depende de fatores meteorológicos e hidrológicos, como a relação entre a evapotranspiração real e potencial da região (FERNANDES *et al.*, 2009; MISHRA; SINGH, 2010; PANU; SHARMA, 2014; SAUSEN; LACRUZ, 2015).

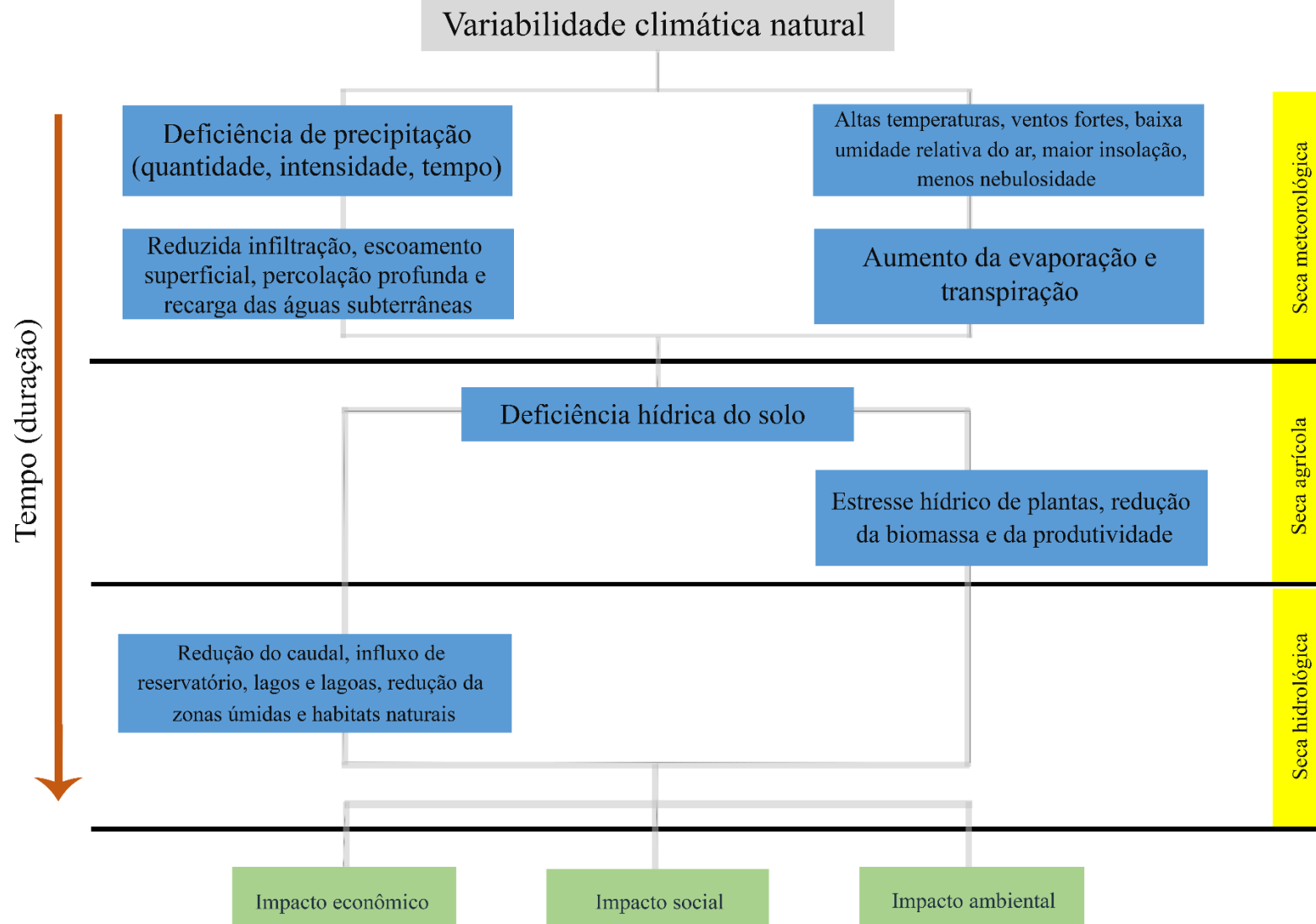
A seca hidrológica tem a sua origem na deficiência do volume de água disponível (superficial e subterrânea), sendo medida pelo caudal de rios e níveis freáticos de lagos, lagoas e reservatórios. Além disso, para identificação desse fenômeno é necessário verificar a disponibilidade de volume de água para consumo humano bem como a taxa de consumo. Normalmente ocorre quando há longo período de ausência de precipitação, porém é importante ressaltar que não existe uma relação direta entre a quantidade de precipitação e o fenômeno (BLAIN; BRUNINI, 2005; SAUSEN; LACRUZ, 2015; WMO, 2006).

A seca socioeconômica acontece quando o processo de escassez de água, advindo da seca hidrológica, afeta as populações e ocasiona a deficiência no provimento de bens ou serviços. Esse fenômeno ocorre quando o volume de água se torna inadequado devido a uma má distribuição das chuvas em uma região. É importante ressaltar que diferentemente dos outros

fenômenos analisados, esse tipo de seca depende do processo de oferta e demanda de recursos para a sua identificação (FERNANDES *et al.*, 2009; SANTOS, 1998; SAUSEN; LACRUZ, 2015; SOUSA JUNIOR; SAUSEN; LACRUZ, 2011).

As principais diferenças entre as tipologias de secas se dão pela forma como elas ocorrem. De acordo com Sausen e Lacruz (2015), a seca meteorológica tem como principal característica a sua inter-relação com elementos do meio natural (fenômenos físicos). Já as tipologias agrícola, hidrológica e socioeconômica provêm pela relação da demanda da sociedade e do meio ambiente. A Figura 3 mostra que o setor agrícola é o primeiro a ser afetado pela seca. Isso se deve ao fato de a agricultura estar fortemente relacionada com a quantidade de água disponível no solo. Se ocorrer uma baixa na precipitação do volume de água, a população passa a sofrer diversos impactos socioeconômicos oriundos dos efeitos da escassez.

Figura 3. Sequência de ocorrência dos diferentes tipos de seca e seus impactos



Fonte: Adaptado de Sausen e Lacruz (2015) e Wilhite (2000)

3.6 Estatística aplicada à análise de séries temporais

Com a criação de programas de observação da Terra foi possível analisar a resposta do meio ambiente às diversas variações naturais e ações antropogênicas realizadas na superfície do planeta. Um dos fatores que auxiliaram na expansão desse conhecimento é a modelagem de dados climáticos. Atualmente, as séries temporais possibilitam a análise dos padrões de registros de diversos processos biogeofísicos, meteorológicos e outros (POTTER *et al.*, 2003).

Uma série temporal pode ser definida como um conjunto de observações feitas ao longo de um determinado intervalo de tempo. Dentro das ciências naturais é possível observar diversas aplicações dessas séries, como nas análises de chuvas em dias sucessivos ou na temperatura do ar em horas. Esse tipo de dado possibilita diversas análises estatísticas, sendo elas probabilísticas ou holísticas (DAVIES; CHATFIELD, 1990).

A análise por meio de séries temporais pode ser aplicada de diversas formas. Assim, uma das principais discussões da última década consiste na aplicação de teorias matemáticas que visem caracterizar de uma melhor forma os dados oriundos de séries temporais. Para uma boa aplicação de métodos estatísticos no mundo real, é necessária a realização de uma revisão bibliográfica para seleção da melhor teoria estatística que é aplicável para o estudo (FULLER, 1996).

Dessa forma, a análise entre a variabilidade espacial das análises para obtenção de estimativas em locais não amostrados pode ser realizada por meio de análises geoestatísticas. Esse processo consiste na análise descritiva, cálculo de semivariogramas e modelos de estimação. Para a realização desse processo, faz-se uso de técnicas de análise exploratória por meio de análises descritivas, como boxplots, histogramas, gráficos de dispersão de variáveis em relação aos eixos coordenados, e de cálculos da denominada estatística descritiva, como média, quartis e desvios padrões. Essas análises têm o objetivo de descrever as variáveis utilizadas para detectar valores extremos e possíveis tendências apresentadas pelos dados. Dentro de séries temporais, a análise de tendências é de grande relevância na análise ambiental, pois demonstram a influência da sazonalidade em alguns parâmetros (SOARES, 2000; VIEIRA *et al.*, 1983) (DRACUP; LEE; PAULSON-JUNIOR, 1980; SOARES, 2000; YAMAMOTO; LADIM, 2013).

Uma das formas mais utilizadas para análise de séries temporais consiste no uso de metodologias de regressão. Para isso, os dados ajustados numa equação da reta ou de alguma outra função matemática, considerando-se as variáveis pertinentes e o tempo. Algumas das metodologias mais utilizadas em séries temporais são os modelos lineares de média móvel autorregressiva, análise de componentes principais e análise de Fourier. Entretanto, é

importante ressaltar que apesar da grande quantidade de métodos para extração de dados de sensores remotos, ainda há uma grande dificuldade de avaliar de forma significativa as mudanças ocorridas por meio de metodologias estatísticas (EASTMAN; FULK, 1993; FULLER, 1998; JAKUBAUSKAS; LEGATES; KASTENS, 2001; KOGAN; ZHU, 2001; LEE *et al.*, 2002; MOODY; JOHNSON, 2001; PIWOWAR; LEDREW, 2002; SHABANOV *et al.*, 2002; SLAYBACK *et al.*, 2003).

3.6.1 Teste de Cox-Stuart

O teste de Cox-Stuart, também conhecido como “teste do sinal”, tem o objetivo de avaliar se uma série temporal apresenta ou não algumas tendências. Esse teste consiste na utilização de análises não paramétricas que busca avaliar a evolução de uma série de observações dentro de uma determinada amostra (COX; STUART, 1955). A aplicação dessa técnica em relação ao uso de índices de vegetação pode ser vista em trabalhos de utilização de séries temporais do sensor MODIS em cenários futuros, como estudado por Arantes *et al.* (2017), e na avaliação de comportamento da vegetação para planejamento e manejo sustentável com dados SPOT, como apresentado por Chaves; Mataveli e Justino (2014). As análises que consistem esse teste visam contrastar as hipóteses sobre a posição central ou mediana da série temporal estudada ou apenas analisar dados de amostras pareadas. Seu resultado não é essencialmente quantitativo, mas a técnica busca analisar as diferenças entre os pares formados ao longo da amostra analisada (ANDERSON; SWEENEY; WILLIAMS, 2008).

Dentro das séries temporais, a principal vantagem obtida ao se aplicar o teste de Cox-Stuart é identificar se a amostra apresenta algum tipo de tendência monótona crescente ou decrescente. A tendência monótona não precisa apresentar uma linearidade, mas pode indicar uma tendência ao longo das observações em relação a locais ou irregularidades aleatórias (FARNSWORTH, 2001; NASCIMENTO *et al.*, 2008).

Essa tendência é calculada através da diferença entre os pares formados a partir das duas sub-amostras, de mesmo tamanho, extraídas da amostra original da série temporal. Para cada par é associado um sinal positivo ou negativo, oriundos da diferença entre as séries, e os empates são eliminados. É esperado que o número total de sinais negativos e positivos seja semelhante para que uma série seja considerada sem tendência (DETZEL *et al.*, 2011). De acordo com Morettin e Toloi (1981), as hipóteses são dadas por:

- H_0 : não existe tendência, ou seja, o número de sinais positivos e negativos são iguais.

- H_1 : existe tendência, ou seja, o número de sinais positivos e negativos são diferentes.

Segundo Bessa (2012), para o número de pares para amostras com $\eta \leq 20$ a regra de decisão da tendência da série temporal é determinada por meio da distribuição binominal. Para $\eta \geq 35$ a regra de decisão pode ser aproximada para o teste de distribuição normal, determinada pela Equação 1, onde x é o número de vezes que o sinal menos frequente ocorre e η é o tamanho da amostra com os empates descontados.

$$Z = \frac{2x \pm 1 - \eta}{\sqrt{\eta}} \quad (1)$$

3.7 Sensoriamento remoto aplicado à análise de seca

O uso de ferramentas de sensoriamento remoto auxilia no monitoramento de eventos de seca por agregarem bancos de dados com informações da superfície terrestre e auxiliarem em análises temporais. Isso auxilia em uma das grandes dificuldades nesses tipos de estudos: o acesso a bancos de dados históricos de medição de campo (SAUSEN; LACRUZ, 2015).

Atualmente diversos estudos utilizam essas ferramentas e discutem a abrangência desse fenômeno em diversas escalas dentro de uma determinada região. O sensor MODIS é bastante utilizado nesses estudos, como demonstrado por Duft e Picoli (2018), em estudos de seca agrícola em espécies de cana-de-açúcar com a utilização de índices de seca, e por Cunha *et al.* (2017), em seus estudos sobre secas em áreas de pastagens. Outra aplicação do sensoriamento remoto é em estudos a respeito da influência da seca na escassez de recursos hídricos, como os apresentados por Marengo *et al.* (2015) e Coelho, Cardoso e Firpo (2016) para as regiões Semiárida e Sudeste do Brasil.

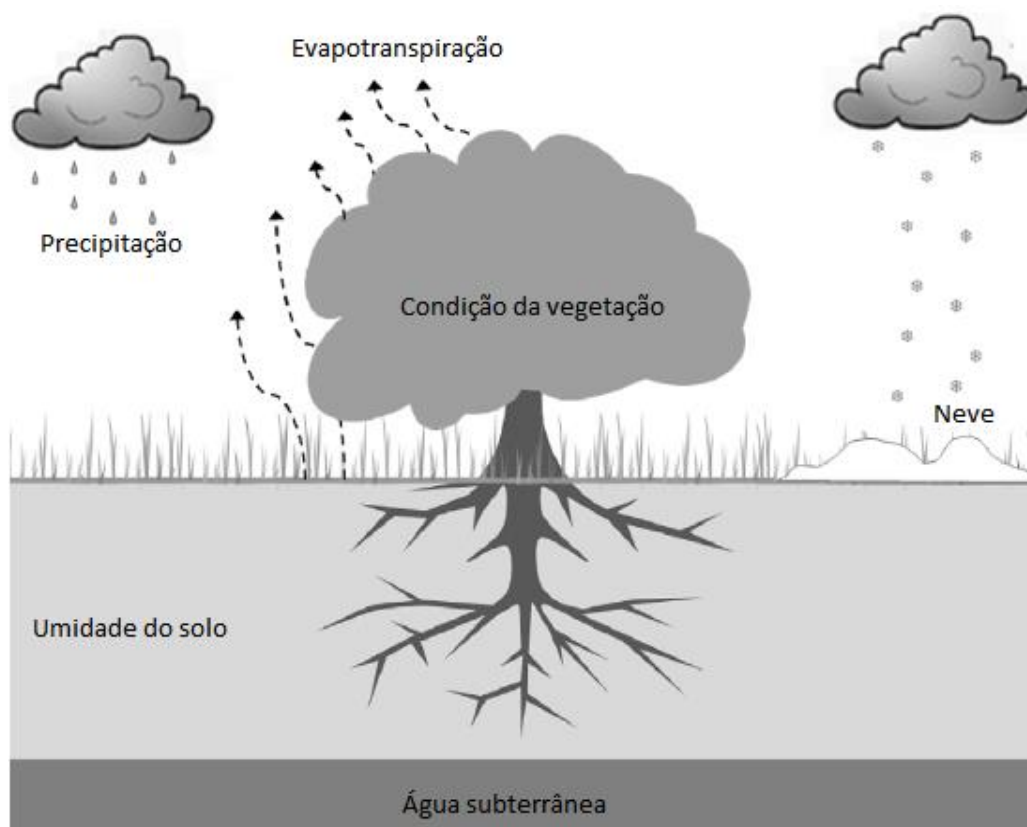
Um dos primeiros usos de imagens de satélites para estudos de climatologia foi iniciado em 1960 com o lançamento do satélite meteorológico TIROS-1. Desde então diversos sensores e satélites, como NOAA/AVHRR, o MODIS, o Landsat, têm sido utilizados para o monitoramento da Terra. Uma das principais vantagens do uso de dados de satélite é a possibilidade do acompanhamento temporal dos fenômenos terrestres por meio dos amplos bancos de dados disponíveis (AHMADALIPOUR *et al.*, 2017). Diversos estudos, como Anyamba e Tucker (2005); Berhan, Hill e Tadesse (2011); Sousa Junior; Sausen e Lacruz (2011) têm se mostrado eficientes na análise de secas através do uso de imagens de satélite.

De acordo com Rao *et al.* (2017), apesar do avanço dessa tecnologia nos estudos climatológicos, um dos grandes desafios atuais no campo do sensoriamento remoto está na criação de algoritmos que busquem estimar variáveis biofísicas da superfície de modo a atender diferentes regiões geográficas. Atualmente, diversos estudos sobre índices de seca têm sido

elaborados, principalmente para estudos agropecuários, e poucos aplicados em sistemas florestais. Segundo o autor, uma das principais dificuldades encontradas no campo florestal está no fato dessas regiões possuírem paisagens com alta variabilidade de vegetação que dificultam a adoção de um índice único.

O avanço das atividades de monitoramento de seca e estiagem está evoluindo por todo o mundo. Isso tem permitido a realização de diversas análises em escala local, regional e global. A partir da década de 1990 foi inaugurada uma nova era nesse campo de pesquisa. Os satélites passaram a coletar dados com maior frequência em diversas resoluções por meio do uso das faixas espectrais do visível e infravermelho (próximo, médio e térmico). Esse avanço permitiu estudos de componentes do ciclo hidrológico que, conseqüentemente, se tornam relevantes para a análise de seca, Figura 4 (HAYES *et al.*, 2012).

Figura 4. Componentes do ciclo hidrológico relevantes no processo de estiagem que podem ser estimados por satélites de sensoriamento remoto



Fonte: Adaptado de Hayes *et al.* (2012)

As aplicações de dados de sensoriamento remoto podem ser feitas de duas formas: em uma visão atmosférica, com a aquisição de dados (como precipitação ou umidade relativa), e na perspectiva da análise da superfície terrestre, por meio do uso de variáveis que são utilizadas

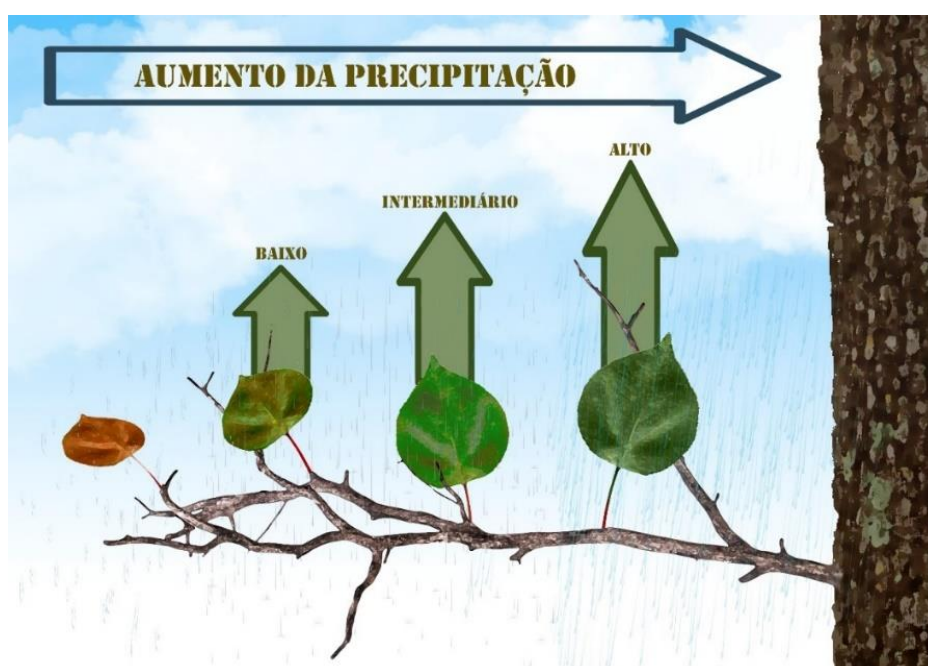
de forma direta no monitoramento de secas, tais como os índices de vegetação (DECHANT; MORADKHANI, 2014, 2015).

Os índices de vegetação são formulações matemáticas que utilizam dados espectrais de sensores remotos para estimar comportamentos das coberturas vegetais de uma região. Essas formulações permitem analisar a atividade da vegetação, bem como a variação das folhagens em termos da sazonalidade. O estresse hídrico causa uma redução na taxa fotossintética e de transpiração da planta, a qual se traduz em uma redução substancial do índice de vegetação. A grande maioria dos índices utiliza as bandas do espectro vermelho e infravermelho para estimar parâmetros como área foliar, atividade fotossintética e outros (BONIFACIO; DUGDALE; MILFORD, 1993; FORMAGGIO, SANCHES, 2017).

A utilização das regiões espectrais do infravermelho termal permitem medir a energia emitida da superfície terrestre e relacioná-la com a temperatura de superfície e albedo. Essas faixas permitem o monitoramento das plantas e a criação de índices que visam a modelagem do fluxo de calor sensível e latente. Essa análise é importante para identificar as épocas de grande e pouco vigor vegetativo em uma região (ANYAMBA, ASSAF; TUCKER, 2012).

As mudanças da cobertura vegetal podem ser utilizadas como indicativos de seca, pois a falta de chuvas, Figura 5, e diversos fatores climáticos auxiliam na redução da vegetação. A densidade dos fluxos climatológicos e a capacidade dos satélites em captar esses dados permite que as informações provenientes de sensoriamento remoto ajudem no monitoramento da seca em diversas regiões do mundo (BAYARJARGAL *et al.*, 2006; HAYES *et al.*, 2012).

Figura 5 - Variação do vigor vegetativo a partir do aumento da precipitação em uma formação vegetal



Fonte: Elaborado por Nino Antonio Camini

Nesse tipo de pesquisa é importante analisar a resolução espacial dos dados para a análise do tamanho dos alvos que podem ser identificados em uma imagem. Normalmente, utilizam-se sensores de moderada e baixa resolução espacial, pois imagens de maiores resoluções são utilizadas frequentemente para análises de uso e cobertura da terra e análise de culturas. Imagens como as do AVHRR, MODIS, TRMM e Landsat são frequentemente utilizados para análises climáticas (SAUSEN; LACRUZ, 2015).

3.8 Índice de vegetação da diferença normalizado (NDVI) e índice de vegetação melhorado (EVI)

O índice de vegetação por diferença normalizada NDVI foi proposto por Rouse *et al.* (1973, 1974) para o cálculo do vigor vegetativo de uma área florestada. Conforme a Equação 2 o NDVI consiste na relação entre a região espectral das bandas infravermelho próximo e vermelho. Os valores desse índice variam entre -1 e 1, onde quanto mais próximo de 1 maior será o vigor da vegetação, indicando uma maior quantidade de biomassa na região.

$$NDVI = \frac{(IVP - V)}{(IVP + V)} \quad (2)$$

Onde

NDVI = Índice de vegetação por diferença normalizada

IVP = reflectância no espectro infravermelho próximo

V = reflectância no espectro vermelho

O índice de vegetação melhorado (EVI) foi proposto por Huete *et al.* (2002) para o cálculo do vigor vegetativo de uma área florestada e está representada na Equação 3. Esse índice consiste na relação entre a região espectral das bandas infravermelho próximo, vermelho e azul. Essa equação visa melhorar a sensibilidade de identificação da vegetação por meio da redução da influência da atmosfera.

$$EVI = G * \frac{(IVP - V)}{(L + IVP + C1 * V - C2 * A)} \quad (3)$$

Onde

EVI = Índice de vegetação melhorado

IVP = reflectância no espectro infravermelho próximo

V = reflectância no espectro vermelho

A = reflectância no espectro azul

L = fator de ajuste para o solo

G = fator de ganho

C1 e C2 = coeficientes para ajuste de efeitos de aerossóis da atmosfera

De acordo com Huete *et al.* (2002), os valores adotados no algoritmo de cálculo do EVI são respectivamente: $L = 1$, $C1 = 6$, $C2 = 7.5$ e $G = 2.5$.

Os índices de vegetação são bastante utilizados para formulação de indicadores de seca/estiagem. O principal objetivo do uso desses índices consiste no monitoramento, quantificação e planejamento de ações para mitigar as consequências causadas por esse fenômeno. Além disso, um dos fatores que auxilia na aplicação dessas metodologias é a relação existente entre o vigor vegetativo de uma região com variáveis meteorológicas, tais como precipitação, temperatura, umidade do solo, dentre outras. Na literatura é possível identificar o uso de técnicas como o índice de condição da vegetação (ICV) para mensuração e análise desse fenômeno (GOMES; SILVA, 2015; JIAO *et al.*, 2016; LIU; KOGAN, 1996; QUIRING; GANESH, 2010).

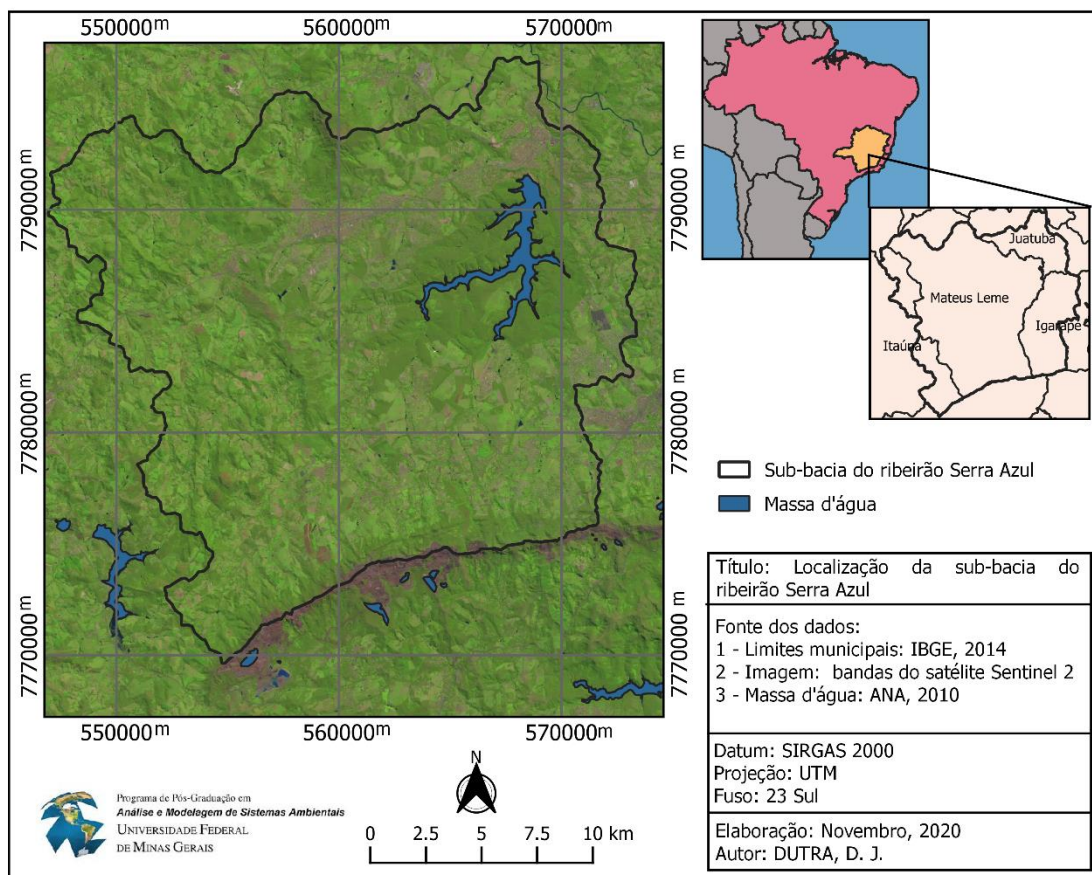
O índice de condição de vegetação foi criado por Kogan (1995a) para o monitoramento e validação de secas nos Estados Unidos por meio da utilização de imagens do satélite NOAA. Além disso, o estudo comparou os dados do índice de condição de temperatura (TCI), oriundos das informações de temperatura de superfície do sensor AVHRR, com os resultados do ICV. O índice de condição de vegetação foi aplicado pelo mesmo autor em um estudo com objetivo de descrever uma metodologia para índices de condição de vegetação para monitorar a seca dos Estados Unidos durante os anos de 1985 a 1990 (KOGAN, 1995c). Os trabalhos demonstraram que o índice apresentou capacidade de mensurar secas, podendo servir como ferramenta de auxílio para detecção do início do fenômeno, sua intensidade, sua duração e seus impactos na vegetação.

Estudos mais recentes demonstram a aplicabilidade desse índice em dados dos sensores MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) e TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Exemplos são os estudos de Du *et al.* (2013); Hao, Zhang e Yao (2015); Jiao *et al.* (2019) e Zhang *et al.* (2017) que demonstraram diversas aplicabilidades do índice de condição de vegetação para o estudo de fenômenos de estiagem e seca. Esses estudos se concentraram em regiões da China e dos Estados Unidos. A aplicação do índice demonstrou que é possível o monitoramento, além da mensuração da extensão e da gravidade do fenômeno.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo se localiza na bacia do rio Paraopeba, mais especificamente na sub-bacia do ribeirão Serra Azul, conforme mapa de localização apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Localização da sub-bacia do ribeirão Serra Azul



4.1 Hidrografia

A bacia do Ribeirão Serra Azul possui 447,83 km² de área de drenagem e abrange os municípios de Mateus Leme, Igarapé, Juatuba e Itaúna, conforme Figura 7. A região se localiza no Estado de Minas Gerais a cerca de 40 km da capital, Belo Horizonte, entre os paralelos de 20° 15' e 20° 00' de latitude sul e os meridianos 44° 15' e 44° 35' de longitude oeste.

A região contempla a presença de um reservatório de mesmo nome (Figura 8), de responsabilidade da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), localizado entre os municípios de Mateus Leme, Juatuba e Igarapé. O reservatório é responsável pelo abastecimento de água de parte de Belo Horizonte e áreas adjacentes.

Figura 7 - Hidrografia da sub-bacia do ribeirão Serra Azul

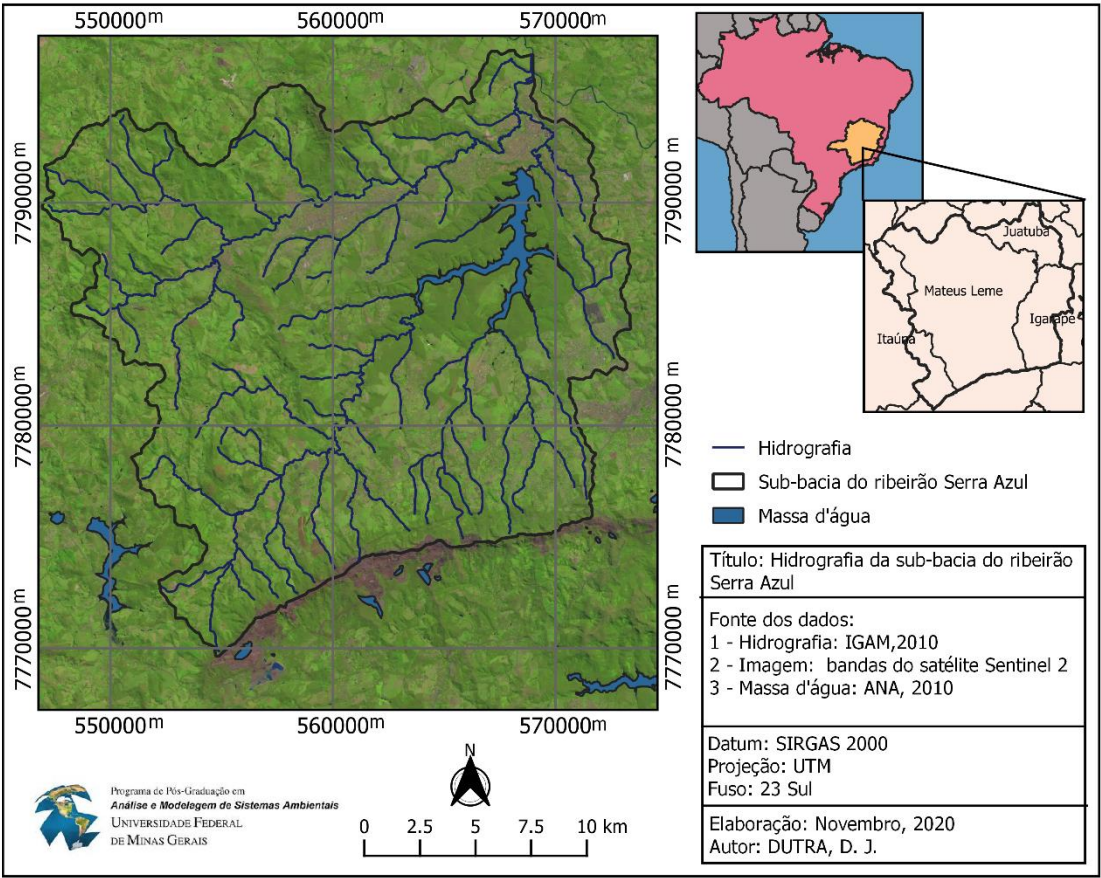


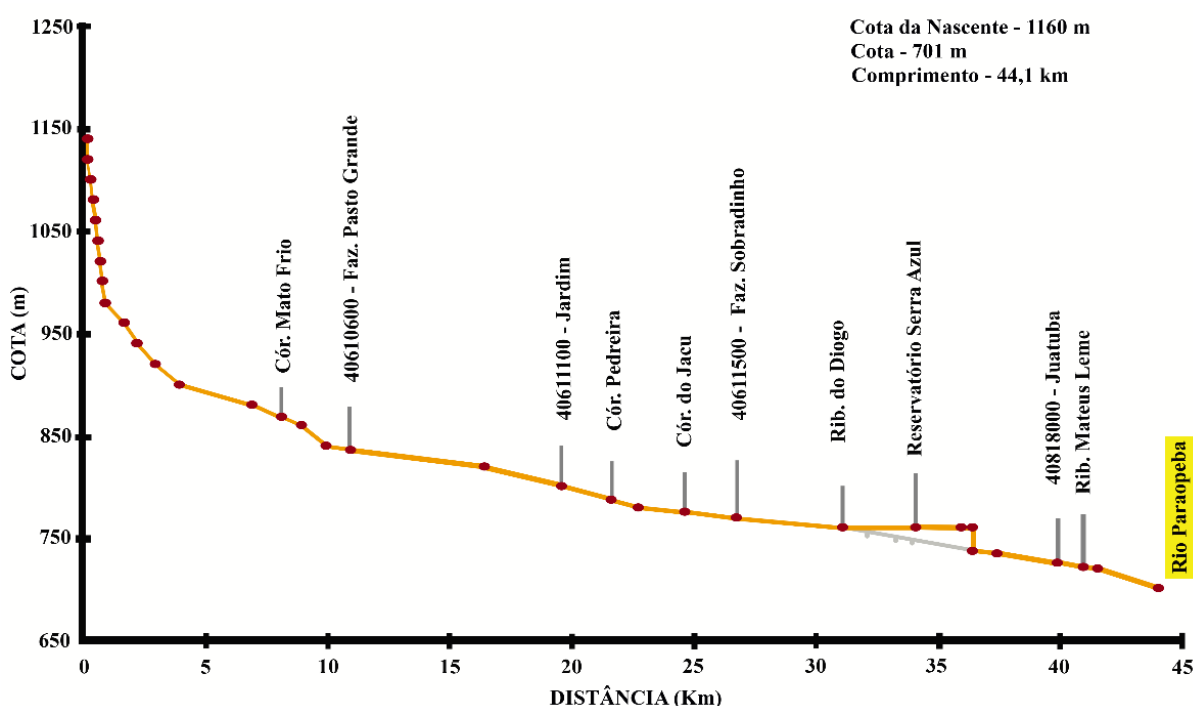
Figura 8 - Reservatório Serra Azul (COPASA)



Fonte: Ferreira *et al.* (2014)

O Ribeirão Serra Azul se estende por 44,1 km desde a nascente até a sua foz, no rio Paraopeba. Ao nascer, o ribeirão recebe o nome de ribeirão dos Freitas, a 1160 m de altitude (Figura 9), na região da Serra Azul em Itaúna. Quando recebe o seu afluente, da margem esquerda, conhecido como córrego Matinha ou Mata Frio passa a ser denominado como Serra Azul. Ao entrar em confluência com o Ribeirão Mateus Leme, o curso d'água passa a se denominar ribeirão Juatuba. Na cota de 700 m, o ribeirão deságua em sua foz (NEVES, 2005; NEVES; VERSIANI; RODRIGUES, 2007).

Figura 9 - Perfil longitudinal do ribeirão Serra Azul/Juatuba



Fonte: Adaptado de (DAEE, 2000)

4.2 Condições climáticas do local

Conforme a classificação Köppen, a região de estudo possui o clima do tipo Aw, onde “A” se refere a verão tropical, ou seja, áreas que apresentam temperatura média mensal maior que 18°C. Já a sigla “w” significa que a região possui um período de 4 a 6 meses de estação hiberna seca. De acordo com a classificação climática do IBGE, a região está inserida na Zona Tropical Brasil Central Subquente, semiúmido com 4 a 5 meses secos. Essa região possui uma umidade caracterizada como semiúmido, com quatro a cinco meses de período de seca (DNAEE, 1981; DUBREUIL *et al.*, 2018; IBGE, 2019).

A área de estudo se encontra dentro da região Sudeste que, de acordo com Nimer (1979), possui uma grande diversidade climática. De acordo com o autor, pelo fato da região se encontrar na zona tropical, ela está sujeita a uma intensa radiação solar que varia entre 0.39 a

0.37 cal/cm²/min (ondas curtas) e 0.3 cal/cm²/min, em média, por ano. A principal consequência da radiação solar na superfície é o intenso calor latente, que cria condições ideais para a evaporação da superfície, principalmente em razão da presença de superfícies líquidas, que auxiliam no processo de condensação dentro do ciclo da água.

Nesse período as chuvas são geralmente mais concentradas no trimestre de dezembro, janeiro e fevereiro, considerados os meses mais úmidos. Em relação à temperatura, as médias térmicas evidenciam a formação de dois períodos distintos: primavera e verão quentes e o inverno com baixas temperaturas (MENDONÇA; OLIVEIRA, 2017).

Existem alguns fatores, como a tropicalidade, que podem causar a redução das precipitações e a presença de períodos de seca na região, que pode extravasar o inverno e prolongar-se até o início da primavera, ou iniciar-se no fim do outono e estender-se até a primavera. Esses fatores são: a pouca umidade da massa tropical marítima durante o período de inverno e o anticiclone polar, que possui pouca umidade, depois que transpõe os Andes, ao entrar em contato com a superfície continental que é resfriada pela radiação noturna. Pelo fato da região estar localizada na zona tropical, há anos em que o verão pode ser longo e excessivamente quente e, o período de seca, nos meses de inverno, pode ser intenso a ponto de causar problemas econômicos em determinadas regiões (NIMER, 1979).

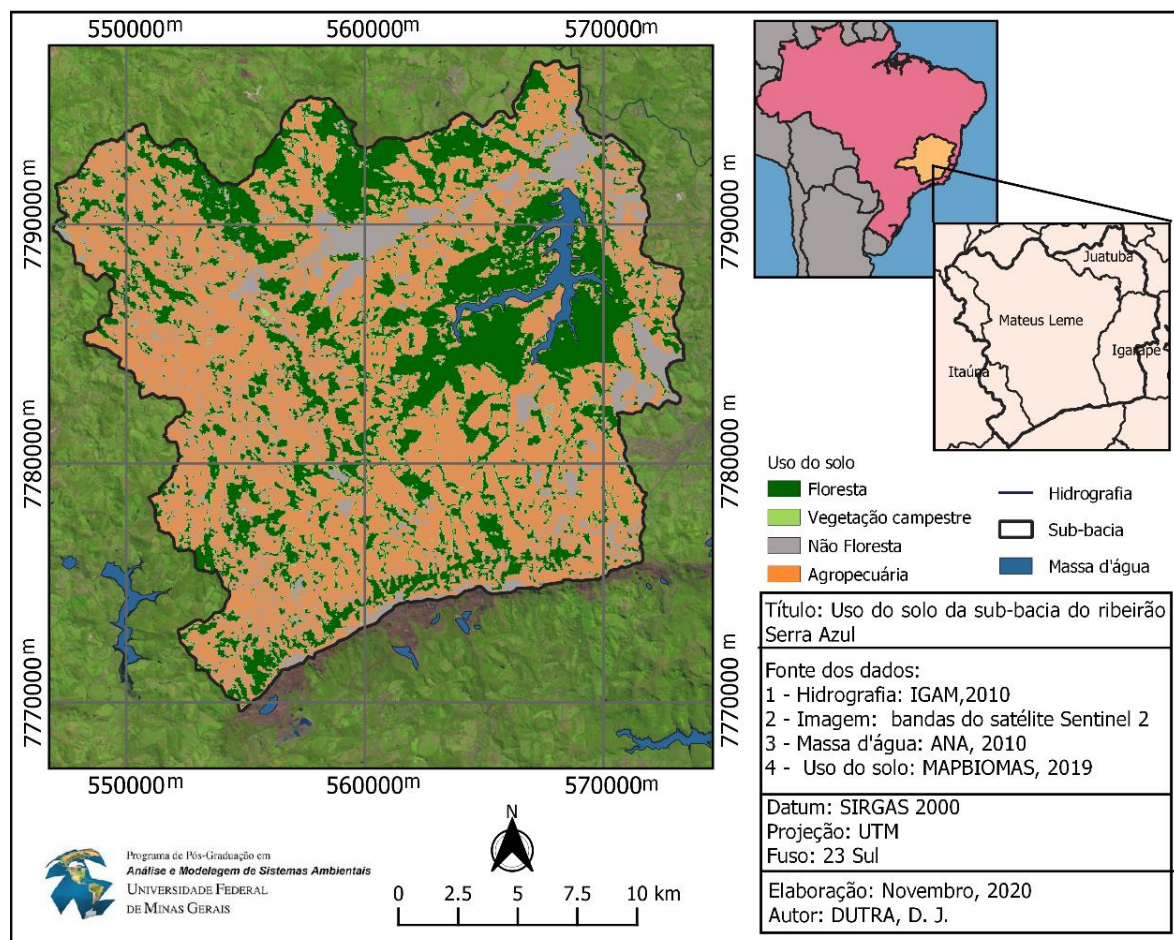
4.3 Vegetação

A área de estudo localiza-se na Região do alto São Francisco. Essa região caracteriza-se predominantemente pelo cerrado que se estende por quase toda a sub-bacia do Ribeirão Serra Azul, Figura 10. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2011) e Santos *et al.* (2017), essa vegetação se encontra em grande quantidade na região do Brasil Central, ocupando cerca de 2 milhões de km², aproximadamente 22% do território brasileiro. Atualmente cerca de 50% dessa cobertura vegetal já foi desmatada e grande parte da sua vegetação remanescente se encontra sob grande pressão das atividades antrópicas.

O termo cerrado é utilizado no Brasil de duas formas. A primeira refere-se a um tipo de bioma caracterizado por uma vegetação regional de larga escala e espaçada. O outro sentido dado a essa palavra refere-se a uma vegetação de área continental que está associada a um determinado tipo de clima. Ela forma uma vegetação parecida com floresta decídua oriental ou as pradarias centrais da América do Norte. Além disso, possui características parecidas com as savanas abertas e arbóreas da África (DNAEE, 1981; EITEN, 1972). De acordo com Coutinho (2006), essa terminologia pode ser definida como uma savana, podendo ser caracterizada de

duas formas: a primeira se refere a sua fitofisionomia e a outra é relativa ao tipo de ecossistema com características particulares de vegetação, também denominada bioma.

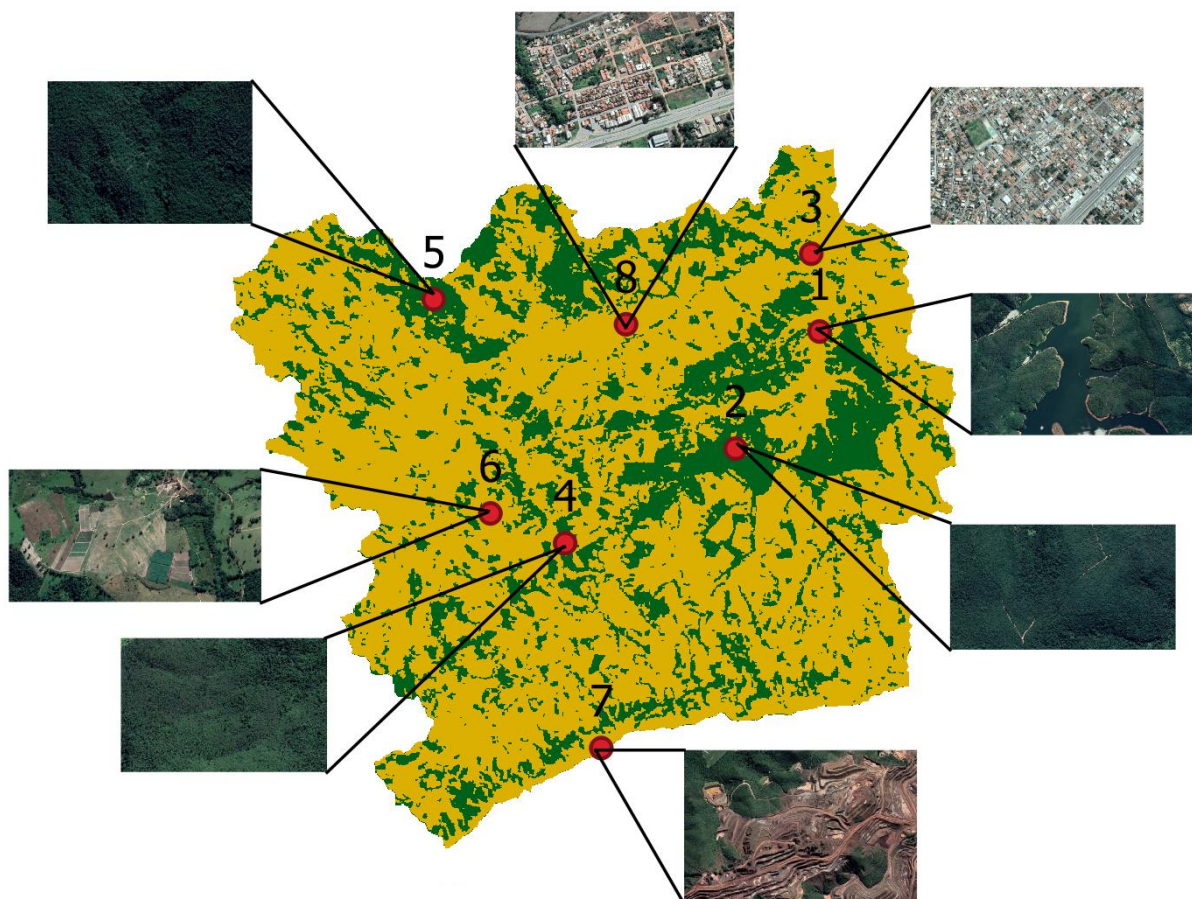
Figura 10 - Uso do solo na região da Sub-bacia do Ribeirão Serra Azul



Na região da Sub-bacia do Ribeirão Serra Azul, essa vegetação é constituída por gramíneas, arbustos e árvores de médio porte. A principal característica da vegetação são os troncos e galhos retorcidos, a casca grossa/suberosa e as folhas espessas. Ele se apresenta de diversas formas sendo a de menor biomassa a de campo sujo, seguido de campo cerrado, cerrado e o cerradão. O cerradão, apesar de possuir uma composição estrutural parecida com o cerrado, apresenta na sua estrutura uma vegetação mais densa e de maior porte se comparado às regiões de formações florestais (DNAEE, 1981).

Estudos recentes de Dutra, Elmiro e Garcia (2020) sobre metodologias para delimitação de áreas vegetais (Figura 11) reportam que a região possui uma grande intervenção de atividades antrópicas, oriundas principalmente da expansão das áreas urbanas, atividades agropecuárias e mineração. Além disso, as regiões florestais estão localizadas em áreas de cerrado, mata atlântica e próxima ao reservatório de abastecimento de água da região.

Figura 11 - Variação do uso do solo na Sub-bacia do Ribeirão Serra Azul, com a presença dos seguintes pontos: 1 (reservatório Serra Azul); 2, 5 e 4 (área florestal); 3 e 8 (área urbana); 6 (agropecuária); e 7 (área de mineração), onde as áreas em verde correspondem a regiões de vegetação e as amareladas de não -floresta



Fonte: Dutra, Elmiro e Garcia (2020)

Franz (1977) verificou que quase 90% da bacia do Ribeirão Serra Azul era composta por vegetação do cerrado em seu estudo sobre a necessidade de água das plantas visando o desenvolvimento agropecuário em bacias típicas de cerrados. Além disso, grande parte dessa vegetação estava sendo transformada em áreas para exploração agrícola de cereais, hortaliças, mandioca, pomares, leguminosas e outros. A conclusão do seu estudo de mudanças do uso do solo constatou que os campos sujos e os campos cerrados apresentavam grande tendência para a expansão agrícola. De acordo com Dutra, Brianezi e Coelho (2020), as mudanças do uso do solo na bacia, oriundo principalmente da supressão da vegetação e da impermeabilização do solo, tem ocasionado diversos impactos na região de estudo, como o aumento da temperatura da superfície da região.

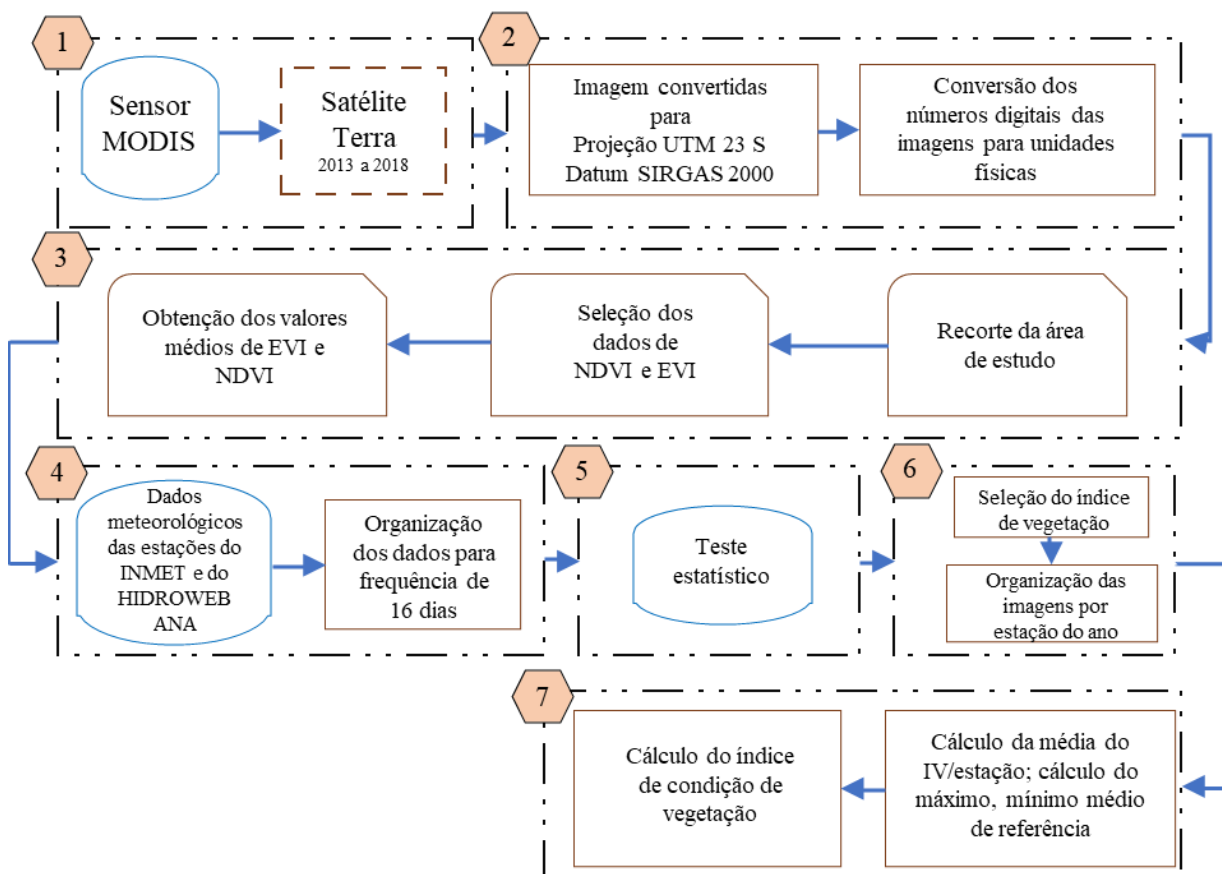
5 MATERIAIS E MÉTODOS

Buscando alcançar os objetivos propostos, a metodologia está estruturada em duas etapas, sendo elas relativas à análise do período de seca e estiagem, por meio do uso do Índice de Condição de Vegetação (ICV), e à avaliação da eficácia do ICV para o monitoramento da possibilidade dos diferentes tipos de seca ao longo do período de tempo de estudo, ou seja, de 2013 a 2018.

5.1 Análise do período de seca e estiagem

Com o objetivo de avaliar a capacidade do sensor MODIS em caracterizar a severidade do fenômeno de seca e estiagem da região de estudo foi utilizado o índice de condição de vegetação para descrever os diferentes aspectos contidos no tema. Para isso, utilizou-se a metodologia de Kogan (1995a), que envolve várias etapas que foram executadas de acordo com o fluxograma metodológico apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Fluxograma metodológico para o cálculo do ICV



5.1.1 Obtenção dos dados do sensor MODIS

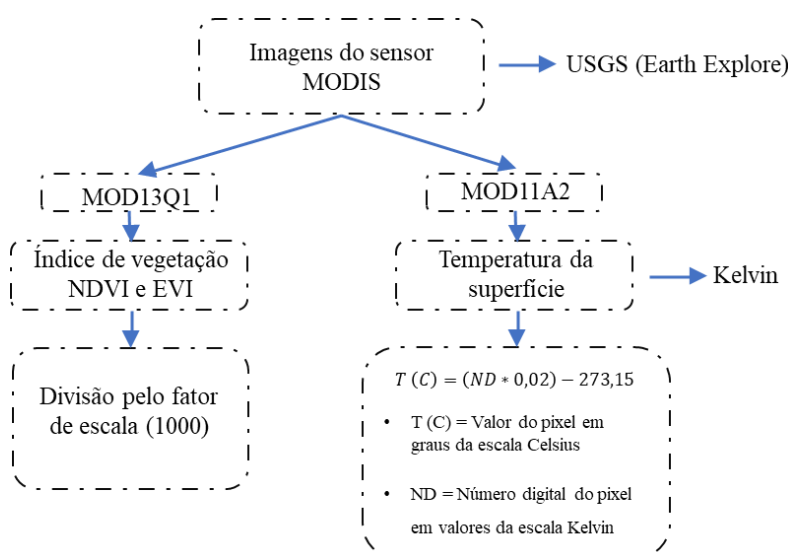
O sensor MODIS fornece uma base de dados contínuos que podem ser aplicados para diversas metodologias, como no monitoramento de secas e estiagens. O MODIS é carregado a bordo dos satélites TERRA e ACQUA. O satélite TERRA tem sido bastante utilizado para

análise da cobertura e da dinâmica da superfície da terra e possui uma resolução temporal, de 16 dias, que possibilita o acompanhamento dessas mudanças.

Os dados, que são fornecidos pela NASA, foram baixados por meio do serviço geológico americano (USGS). Originalmente, os dados são fornecidos em formato HDF (Hierarchical Data Format) e projeção senoidal. Assim, foi necessário o uso de software de geoprocessamento (QGIS 3.4.6) para a conversão dos dados em formato TIFF (Tagged Image File Format), projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), Fuso 23 Sul e Datum horizontal SIRGAS 2000.

Foram utilizados dados do sensor MODIS para a análise dos índices de vegetação e da temperatura de superfície da região. Dentro da série de produtos do sensor MODIS foram utilizados o MOD13Q1, referentes aos índices de vegetação NDVI e EVI, e o MOD11A2, referentes à temperatura da superfície terrestre. Os dados do MOD13Q1 possuem resolução temporal de 16 dias e resolução espacial de 250 m. Já os dados do MOD11A2 possuem resolução temporal de 8 dias e resolução espacial de 1 km.

Figura 13 - Fluxograma de obtenção dos dados do sensor MODIS



Os dados de temperatura do MOD11A2 são originalmente fornecidos na escala Kelvin. Dessa forma, foi necessário utilizar um fator de conversão para que os dados sejam convertidos para graus da escala Celsius (Figura 13). A conversão foi feita por meio da multiplicação das imagens pelo fator de escala 0,02 seguido pela subtração do valor 273,15, conforme Equação 4.

$$T(C) = (ND * 0,02) - 273,15 \quad (4)$$

Onde

T(C) = Valor do pixel em graus da escala Celsius

ND = Número digital do pixel em valores da escala Kelvin

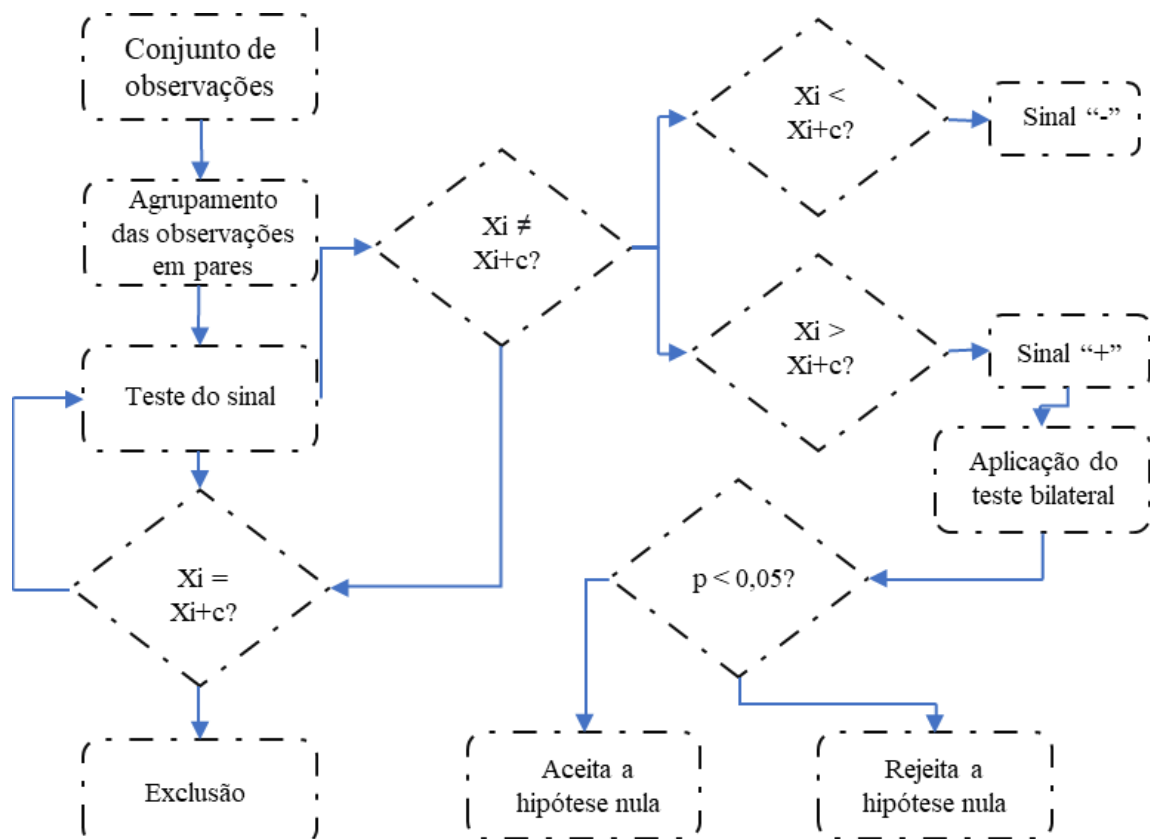
Os dados MOD13Q1 são fornecidos com valores digitais no intervalo de -10000 a 10000. Visto que os índices de vegetação, EVI e NDVI são fornecidos no intervalo de -1 a 1, torna-se necessário o reescalonamento dos dados através da divisão de cada imagem pelo seu fator de escala, no caso, 10000.

5.1.2 Análise da série temporal dos índices de vegetação: teste de Cox-Stuart

Para processamento dos dados foi utilizado o software QGIS, versão 3.4.6, na criação de uma série temporal mensal do período compreendido entre 01/01/2013 e 31/12/2018 (72 meses). A série temporal foi extraída para o pixel de localização das estações meteorológicas do INMET e da ANA. Gerou-se uma série temporal desses dados, sendo eles exportados para uma planilha eletrônica.

Realizou-se a análise da série temporal (Figura 14) com o objetivo de determinar a relação entre a amplitude e a média para as variáveis utilizadas, buscando verificar a influência da sazonalidade nos dados. Em seguida, aplicou-se a análise de sinais. Essa análise é importante, pois a sazonalidade está presente nos cálculos de índice de vegetação, principalmente pelo fato dos períodos de chuva e de seca influenciarem no vigor vegetativo de áreas de vegetação.

Figura 14- Fluxograma do cálculo do Teste de Cox-Stuart (COX; STUART, 1955)

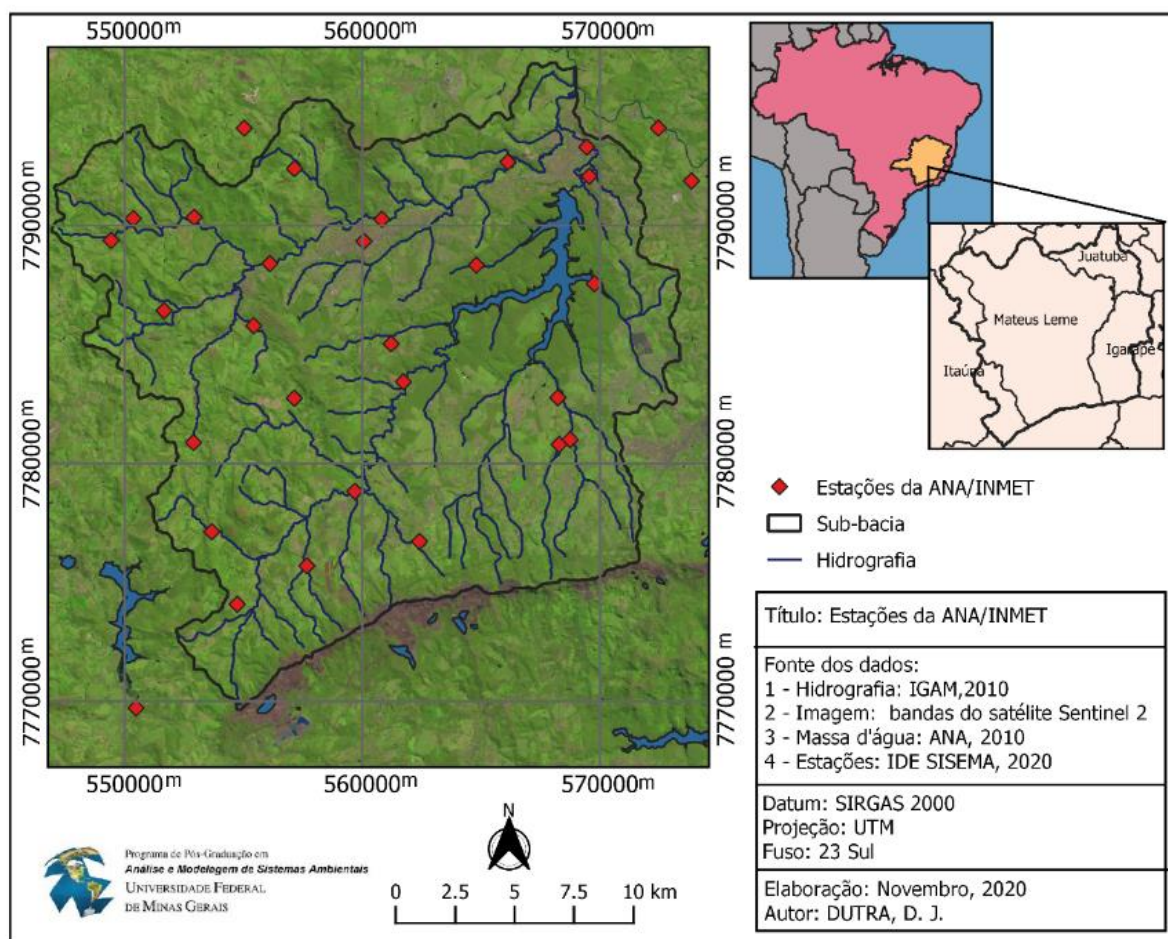


O perfil temporal da série tem como objetivo mostrar a variação do comportamento da vegetação ao longo do período de tempo analisado. Utilizou-se o teste de Cox-Stuart, apresentado por Morettin e Tolo (2006), para verificar se a série temporal apresentava ou não alguma tendência. Para o processamento dos dados, utilizou-se o software RStudio por meio da aplicação do algoritmo apresentado no Apêndice A.

5.1.3 Processamento dos dados meteorológicos

Foram usadas três variáveis meteorológicas para a seleção do índice de vegetação a ser utilizado no estudo, sendo elas: temperatura do ar, evapotranspiração e pluviosidade, sendo esses dados oriundos das estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Nacional de Águas (ANA), conforme demonstrado na Figura 15.

Figura 15 - Localização das estações da ANA e do INMET utilizadas na área de estudo



Para isso, foram utilizados os dados das estações automáticas do INMET para levantamento dos dados de temperatura do ar, evapotranspiração e pluviosidade. Devido à falta de estações dentro da região de estudo, Tabela 1, foram utilizados os dados de regiões adjacentes. Para verificar se algum evento externo estava influenciando na diminuição da

temperatura ou da precipitação, realizou-se a análise dos boletins meteorológicos do INPE no período que abrange a pesquisa, ou seja, entre os anos de 2013 a 2018.

Tabela 1 - Estações meteorológicas

Código	Estação	Cidade
86821	Rola Moça-A555	Ibirité
86799	Cercadinho-F501	Belo Horizonte
86800	Pampulha-A521	Belo Horizonte
86798	Florestal-A535	Florestal

Utilizaram-se dados das estações automáticas Hidroweb da ANA para levantamento da precipitação na região de estudo. As estações utilizadas para o trabalho estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Estações pluviométricas

Código	Estação	Cidade
1944007	Fazenda Escola	Florestal
2044002	Itaúna – montante	Itaúna
2044041	Fazenda laranjeiras – jusante	Itaúna
2044020	Calambau	Itaúna
2044026	Fazenda coqueiros	Itaúna
2044043	Estiva	Mateus Leme
2044052	Jardim	Mateus Leme
2044054	Serra Azul	Mateus Leme
2044019	Fazenda Vista Alegre	Mateus Leme
2044024	Fazenda Curralinho	Mateus Leme
2044053	Escola de Veterinária	Mateus Leme
1944027	Juatuba	Mateus Leme
1944026	Barro Preto	Mateus Leme
1944004	Ponte Nova do Paraopeba	Juatuba
2044016	Fazenda Benedito Chaves	Itatiaiuçu
2044008	Melo Franco	Brumadinho

5.1.4 Correlação entre os dados meteorológicos e os índices NDVI e EVI

Em séries temporais, a correlação entre dados fornece informações sobre a probabilidade de ocorrência dos dados e possibilita a análise de correlação entre x e y com base

em um par de N observações (DAVIES; CHATFIELD, 1990). O modelo de regressão linear por análise de mínimos quadrados (LS) foi adotado para aplicação nas análises.

De acordo com Naoum e Tsanis (2003), o LS consiste em um método que utiliza a minimização das soma dos quadrados dos desvios da resposta das amostras observadas em relação à resposta ajustada. Na pesquisa realizada, o objetivo dessa técnica consiste em verificar qual o melhor índice que as variáveis meteorológicas conseguem explicar para análise do fenômeno de seca na região. Para a realização dessa técnica foi utilizado o software RStudio por meio do algoritmo apresentado no Apêndice B.

A correlação entre os índices de vegetação e os dados meteorológicos foi avaliada para seleção do índice de vegetação a ser utilizado no estudo, para isso utilizou-se o software RStudio. A correlação é realizada para cada imagem da série temporal analisada, 2013 a 2019. Para isso, utilizam-se os valores médios de NDVI e EVI. A correlação é calculada pela Equação 5, proposta por Pearson (1982) e Pearson, Fischer e Inman (1994), conforme demonstrado pela Figura 16.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

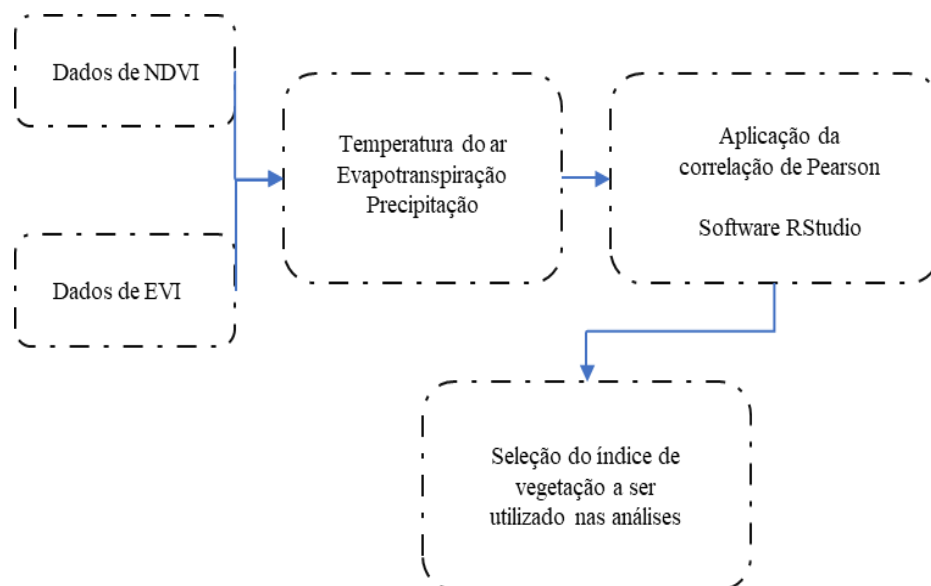
Onde

r = coeficiente de correlação de Pearson;

$\bar{x}$ = média amostral de x ;

$\bar{y}$ = média amostral de y .

Figura 16 - Fluxograma da correlação de Pearson



De acordo com Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009) o coeficiente (r) pode apresentar uma correlação negativa ou positiva que pode variar entre -1 e 1. Quanto mais próximo de 1,

maior será a associação linear entre a variância dos índices utilizados, e quanto mais próximo de zero, menor essa associação. Se a correlação for negativa a associação será inversa. A Tabela 3 apresenta a classificação do coeficiente de Pearson de acordo com os estudos elaborados por Cohen (1998); Dancey e Reidy (2006) e Paranhos *et al.* (2014).

Tabela 3 - Classificação do coeficiente de Pearson

Coeficiente de correlação de Pearson (r)	Correlação
$r = 1$	Perfeitamente positiva
$0,8 \leq r < 1$	Fortemente positiva
$0,5 \leq r < 0,8$	Moderadamente positiva
$0,1 \leq r < 0,5$	Fraca positiva
$0 \leq r < 0,1$	Ínfima positiva
0	Nula
$-0,1 \leq r < 0$	Ínfima negativa
$-0,5 \leq r < -0,1$	Fraca negativa
$-0,8 \leq r < -0,5$	Moderada negativa
$-1 \leq r < -0,8$	Forte negativa
$r = -1$	Perfeita negativa

Fonte: Adaptado de Cohen (1998); Dancey e Reidy (2006) e Paranhos *et al.* (2014)

Dentro dessa análise é importante ressaltar a significância de r em relação ao tamanho da amostra, sendo importante atentar para esse aspecto durante o processo. Após a aplicação desse processo, selecionou-se o índice que será utilizado como dado de entrada para o cálculo do índice de condição de vegetação (ICV), ou seja, aquele que apresentou melhor correlação com as variáveis analisadas.

5.1.5 Organização dos dados por estação do ano

Na análise da ocorrência de seca por meio do índice da condição da vegetação, os dados foram organizados conforme as estações do ano. Para o local foram utilizados os dados encontrados do cálculo do índice de vegetação que apresentaram a melhor correlação com os dados meteorológicos analisados. Assim, foram agrupados os dados conforme as estações do ano, onde:

- Verão: 19 de dezembro a 21 de março;
- Outono: 22 de março a 21 de junho;
- Inverno: 22 de junho a 22 de setembro; e
- Primavera: 23 de setembro a 18 de dezembro

Visto que a resolução temporal do sensor MODIS é de 16 dias, organizaram-se os dados dos índices por estação do ano (Tabela 4), para a realização da análise. Todas as datas foram classificadas de acordo com os seus respectivos dias julianos. O período de análise compreendeu de 19/12/2012 a 03/12/2018.

Tabela 4 - Estações do ano e respectivos dias julianos (escala contínua dos dias do ano) e gregorianos das imagens referentes aos índices de vegetação do sensor MODIS.

Verão	Outono	Inverno	Primavera
-	81 – 22/03	177 – 26/06	273 – 30/09
01 – 01/01	97 – 07/04	193 – 12/07	289 – 16/10
17 – 17/01	113 – 23/04	209 – 28/07	305 – 01/11
33 – 02/02	129 – 09/05	225 – 13/08	321 – 17/11
49 – 18/01	145 – 25/05	241 – 29/08	337 – 03/12
65 – 06/03	161 – 10/06	257 – 14/09	353 – 19/12

5.1.6 Cálculo do índice de condição de vegetação (ICV)

As mudanças da vegetação não são facilmente identificadas com a utilização de dados de índice de vegetação, como EVI e NDVI. Dessa forma, faz-se necessária a utilização de outros índices capazes de determinar a influência de fenômenos naturais na composição da vegetação. Isto posto, o ICV foi elaborado para medir a condição de seca ou estiagem da região, conforme a maneira que o clima interfere em seu vigor vegetativo. Por exemplo, em um período de extrema seca, o crescimento da vegetação irá diminuir, fazendo com que o ICV apresente valores menores (DU *et al.*, 2013).

Para elaboração do ICV (Apêndice G), foram calculadas as médias para cada estação do ano em todo período analisado, conforme a Equação 6. Dessa forma, resultaram quatro imagens de ICV por ano e trinta imagens ao longo de seis anos.

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (6)$$

Onde

N = número de imagens de cada estação do ano

X = média de um conjunto N de dados numéricos

X_i = valores do índice de vegetação

As imagens de média foram agrupadas de acordo com a estação do ano, ao longo de toda faixa temporal analisada. Após o processo, foi calculada a média de todos os pixels de valores máximos e mínimos de cada estação do ano, ou seja, a média do máximo e do mínimo valor das imagens do índice de vegetação de todos os verões, outonos, invernos e primaveras dos seis anos analisados. O cálculo do ICV foi realizado, conforme a Equação 7, para obter as ocorrências de seca ao longo do período analisado. Os cálculos são realizados de acordo com a metodologia de Kogan (1995a).

$$ICV = \frac{\bar{X}_{estação} - \bar{X}_{min.estação}}{\bar{X}_{max.estação} - \bar{X}_{min.estação}} * 100 \quad (7)$$

Onde

ICV = Índice de Condição da Vegetação (%);

$\bar{X}_{\text{estação}}$ = média, por estação, do índice de vegetação para um determinado ano;

$\bar{X}_{\text{min.estação}}$ = média geral dos valores mínimos do índice de vegetação para determinada estação. No presente caso, considerou-se a média de valores mínimos da estação para a série total de seis anos; e

$\bar{X}_{\text{max.estação}}$ = média geral dos valores máximos do índice de vegetação para determinada estação. considerou-se a média de valores máximos da estação para a série total de seis anos.

O algoritmo de monitoramento da seca possibilita a análise dos dados do índice de vegetação (NDVI e EVI) em um curto período, bem como mudanças em longo prazo, ou seja, o ICV possibilita análises climáticas de curto prazo e as mudanças que ocorrem no ambiente em um longo espaço de tempo. O índice possibilita uma normalização dos dados e uma avaliação em uma escala que vai de zero a cem. De acordo com Kogan (1995a), quando mais próximo de zero maior a influência do fenômeno de seca em uma região. Após o cálculo do índice de condição de vegetação as imagens foram reclassificadas conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Intervalos de classes dos valores do Índice de Condição da Vegetação (ICV) e sua correspondente classificação.

Valores de ICV (%)	Classificação
$X < 20$	Seca extrema
$20 \leq X < 40$	Seca severa
$40 \leq X < 60$	Seca moderada
$60 \leq X < 80$	Seca suave
$X \geq 80$	Sem ocorrência de seca

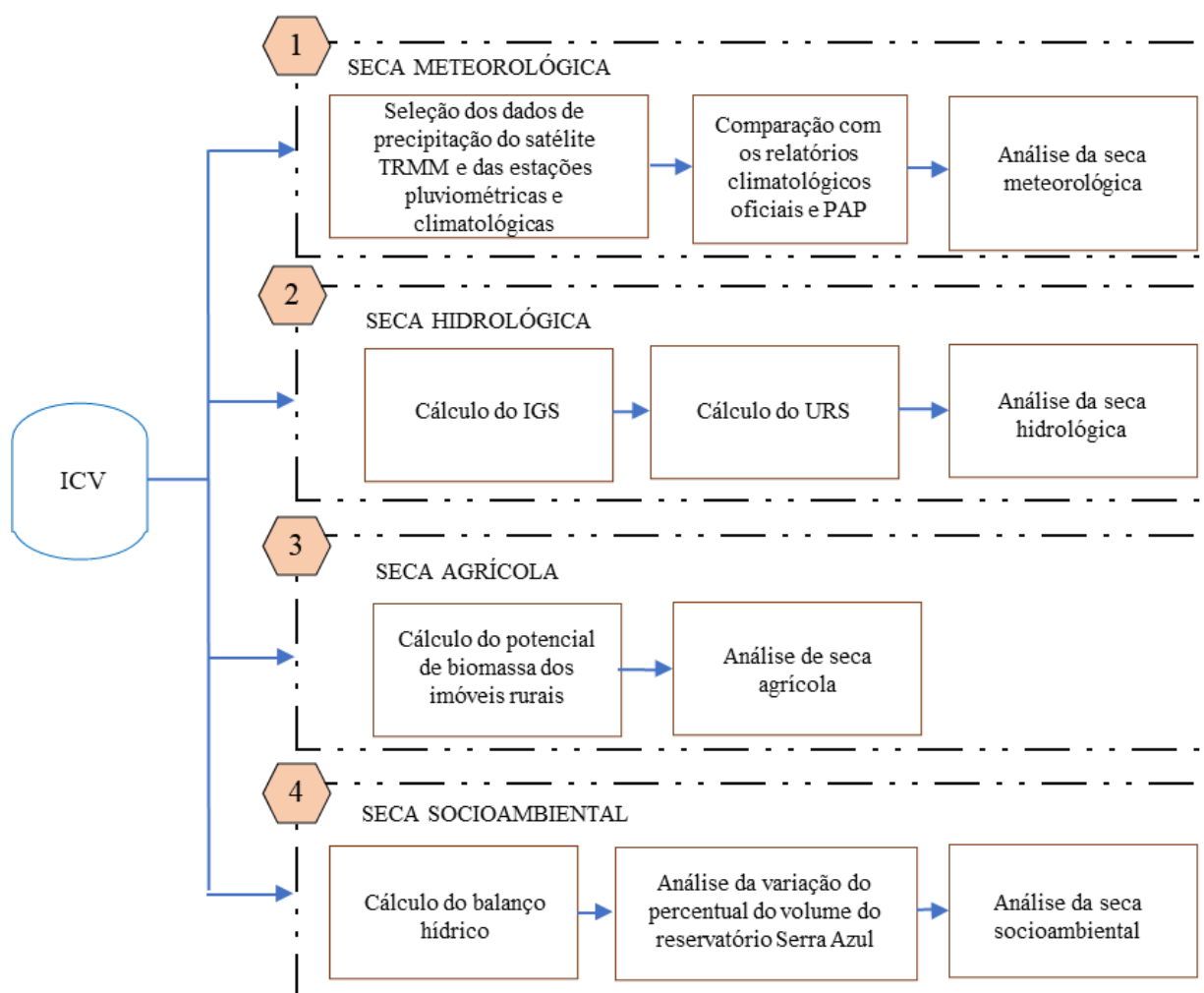
Fonte: Adaptado de Bhuiyan e Kogan (2010) e Covele (2011)

Foram gerados gráficos por estação do ano que visam apresentar a área das classes de ocorrência dos diversos estágios de seca. Realizou-se a comparação dos dados com os valores acumulados de precipitação e suas anomalias para cada estação do ano.

5.2 Eficácia do ICV para o monitoramento de diferentes tipos de secas em uma bacia hidrográfica

Com o objetivo de analisar os diferentes tipos de seca presente na sub-bacia do Ribeirão Serra Azul ao longo do tempo de estudo, utilizou-se uma análise comparativa entre o Índice de Condição de Vegetação e dados ambientais, que foram executados de acordo com o fluxograma metodológico apresentado na Figura 17.

Figura 17 -Fluxograma para análise do período de seca e estiagem



5.2.1 Análises de seca meteorológica e hidrológica

A análise de seca meteorológica foi realizada por meio da comparação entre os dados de ICV e os relatórios climáticos, elaborados em âmbito nacional, pelos Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Essa análise teve o objetivo de identificar a influência de eventos climáticos naturais no agravamento da seca na região de estudo. Em relação a seca hidrológica, os dados dos imóveis foram obtidos por meio do Cadastro Ambiental Rural (CAR) disponibilizado de forma pública no site do SICAR (Sistema de Cadastro Ambiental Rural).

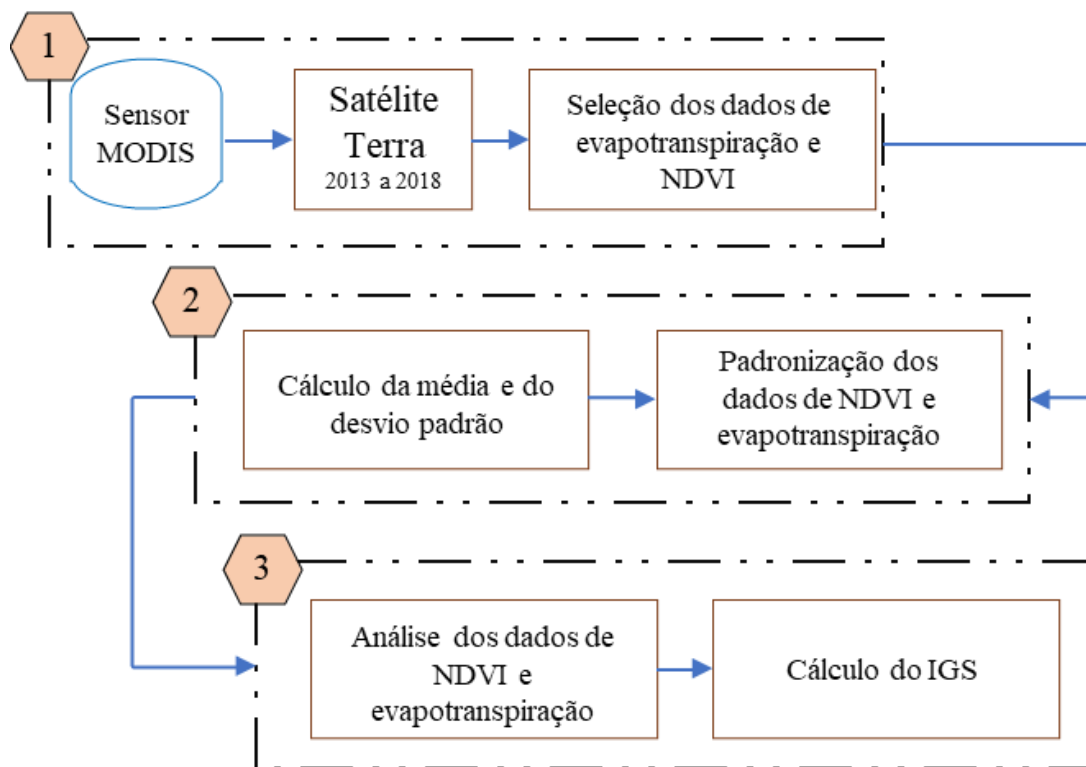
5.2.1.1 Cálculo do Índice de Gravidade da Seca (IGS) detectado por meio de sensoriamento remoto

Com o objetivo de avaliar a capacidade do sensor MODIS de caracterizar a severidade de seca hidrológica e analisar as variações sazonais da região de estudo, utilizou-se o índice de gravidade da Seca para descrever a umidade regional em relação a precipitação e umidade do

solo (Figura 18). Para isso, utilizou-se a metodologia de Zhang, Mu e Huang (2016), que inclui a utilização de dados de sensores remotos, dados ambientais e dados estatísticos do solo.

Para o cálculo do IGS (Apêndice H), foram utilizados dados de sensoriamento remoto do sensor MODIS, respectivamente dos projetos MOD16 ET/PET e MOD13 NDVI/EVI, para o período de 2013 a 2018. Os dados foram baixados no projeto Land Processes Distributed Active Archive Center (LPDAAC) da NASA por meio da plataforma do USGS e utilizados como variáveis de entrada para o cálculo do modelo apresentado.

Figura 18 - Fluxograma de cálculo do IGS



De acordo com Zhang, Mu & Huang (2016), o projeto MOD16 ET/PET foi idealizado por Cleugh *et al.* (2007) e Mu; Zhao e Running (2011, 2013) e utiliza a equação de Penman-Monteith (bastante difundida em estudos hidrológicos) para análises meteorológicas e da dinâmica da vegetação, derivadas do sensor MODIS em uma resolução temporal de oito dias. Esse projeto resulta em quatro produtos, sendo eles Evapotranspiração (ET), Potencial de evapotranspiração (PET), Calor latente (CL) e Calor Potencial Latente (CPL).

Utilizou-se a metodologia proposta por Mu *et al.* (2013), que visa a integração das informações dos dados do sensor MODIS de evaporação e de índice de vegetação. De acordo com a metodologia, a primeira etapa do processo consiste na padronização dos dados de ET/PET e NDVI, conforme demonstrado pelas Equações 8 e 9, onde $\overline{ET/PET}$ e $\overline{NDVI}$ correspondem a média de longo prazo (2013 a 2018) de ET/PET e NDVI; $\sigma_{ET/PET}$ e σ_{NDVI}

representam o desvio padrão de ET/PET e NDVI; e $Z_{ET/PET}$ e Z_{NDVI} são os valores padronizados de ET/PET e NDVI.

$$Z_{ET/PET} = \frac{ET/PET - \overline{ET/PET}}{\sigma_{ET/PET}} \quad (8)$$

$$Z_{NDVI} = \frac{NDVI - \overline{NDVI}}{\sigma_{NDVI}} \quad (9)$$

Após a padronização dos dados de evapotranspiração e do índice de vegetação, realizou-se a adição entre os valores padronizados para posteriormente calcular o IGS, conforme demonstrado pelas Equações 10 e 11. Onde $Z_{ET/PET}$ e Z_{NDVI} são os valores padronizados de ET/PET e NDVI; Z é a soma dos valores padronizados; $\bar{Z}$ corresponde à média de longo prazo do conjunto de dados; σ_Z é o desvio padrão dos valores padronizados; e IGS é o índice de gravidade da seca.

$$Z = Z_{ET/PET} + Z_{NDVI} \quad (10)$$

$$IGS = \frac{Z - \bar{Z}}{\sigma_Z} \quad (11)$$

5.2.1.2 Cálculo Umidade Relativa do Solo (URS) detectado por meio de sensoriamento remoto

Para verificar a influência do ICV na umidade do solo, utilizou-se o conjunto de dados referentes à precipitação diária e mensal para o período de estudo (2013-2018) fornecido pelo projeto 3B43, multisatellite precipitation, do Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). As imagens foram baixadas por meio de código elaborado dentro da plataforma do Google Earth Engine (Apêndice C). De acordo com Huffman e Bolvin (2018), o projeto 3B43 disponibiliza a variável precipitação em mm/h e engloba todas as fases de precipitação (chuva, chuveiro, neve e granizo), conforme demonstrado pela Tabela 6.

Tabela 6 - Lista de dados, nome de variáveis (na estrutura de dados) e unidades do projeto 3B43

Índice	Dados	Nome da variável	Unidades
1	Precipitação	Precipitação	mm/h
2	Precipitação com erro relativo	Erro relativo	mm/h
3	Ponderação relativa	Ponderação relativa	Fração

Fonte: Adaptado de Huffman e Bolvin (2018)

Além disso, calculou-se a umidade do solo por meio de dados de índice de vegetação e temperatura de superfície, por meio da adaptação da metodologia proposta por Zhan, Qin e Wang (2004) e aplicado em regiões brasileiras por Lopes *et al.* (2011). Nesse processo o cálculo

da umidade do solo foi realizado por meio de dados dos projetos MOD13Q1, de índice de vegetação, e MOD11A2, referente à temperatura de superfície, do sensor MODIS.

O índice de umidade do solo (IUS) apresenta valores entre zero e um, onde quanto mais próximo de um, maior a umidade apresentada pelo solo (ZHAN; QIN; WANG, 2004). Foram utilizados os dados de temperatura de superfície do sensor MODIS para a primeira parte do cálculo do índice, conforme mostrado pela Equação 12, onde TS_{max} e TS_{min} são os valores máximo e mínimo da temperatura de superfície para cada estação do ano do período de estudo e TS é a temperatura de superfície do pixel.

$$IUS_{TS} = \frac{TS_{max} - TS}{TS_{max} - TS_{min}} \quad (12)$$

O IUS também foi calculado com a utilização dos dados de índice de vegetação (NDVI), conforme demonstrado pela Equação 13, onde, segundo Wang *et al.* (2010), o uso da constante um na equação refere-se à inversão dos valores de NDVI, pois quanto maior o valor do índice de vegetação, maior o valor do IUS. Além disso, o $NDVI_{max}$ e $NDVI_{min}$ se referem aos valores máximos e mínimos do índice de vegetação de cada estação estudada ao longo do período de estudo e NDVI corresponde ao valor do índice para cada pixel do plano de informação do raster analisado.

$$IUS_{NDVI} = 1 - \frac{NDVI_{max} - NDVI}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (13)$$

Após esse processo, calculou-se o IUS médio através dos dados obtidos pelo IUS_{NDVI} e IUS_{TS} , conforme demonstrado na Equação 14, onde IUS_{TS} é o índice de umidade do solo resultante do uso de dados de temperatura de superfície; IUS_{NDVI} corresponde ao índice de umidade do solo oriundo de índice de vegetação e IUS é o índice médio de umidade do solo.

$$IUS = \frac{IUS_{TS} + IUS_{NDVI}}{2} \quad (14)$$

Zhang, Mu e Huang (2016) sugerem o uso de indicadores em conjunto com os resultados do IGS para avaliação e comparação dos dados. Dessa forma, o estudo sugere o uso de indicadores meteorológicos/hidrológicos, como o PAP (Porcentagem de Anomalia de Precipitação) e URS (Umidade Relativa do Solo), conforme demonstrado pelas Equações 15 e 16, onde P é a precipitação; $\bar{P}$ corresponde a média de longo prazo para o período de estudo (2013- 2018); IUS é o valor de umidade do solo fornecido pelo conjunto de dados; e MAX_{IUS} é o valor máximo de umidade do solo que corresponde a constante de 1.

$$PAP = \frac{P - \bar{P}}{\bar{P}} \times 100\% \quad (15)$$

$$URS = \frac{IUS}{MAX_{IUS}} \times 100\% \quad (16)$$

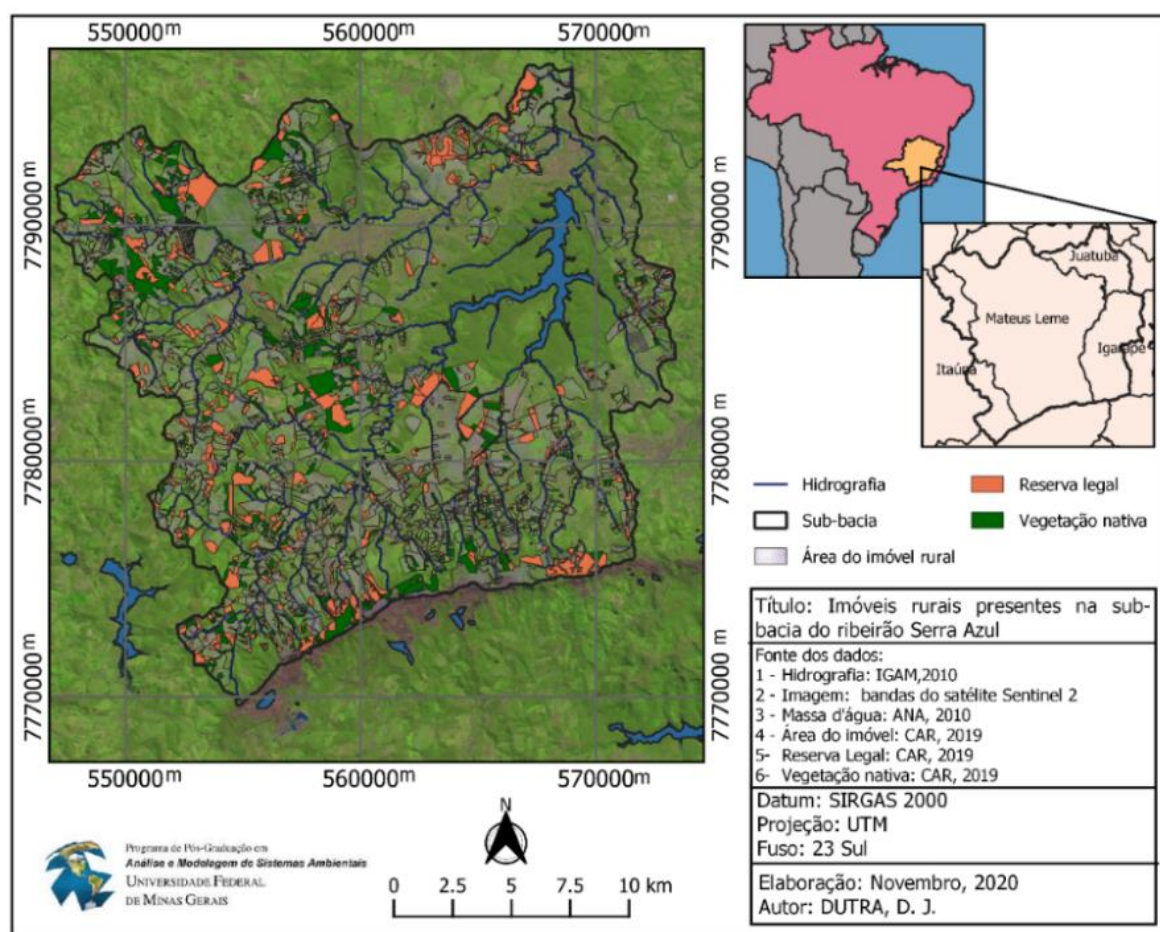
5.2.1.3 Análise comparativa entre os dados meteorológicos e Índice de Condição de Vegetação (ICV)

Os dados médios do índice de condição de vegetação foram relacionados com os valores médios dos dados climáticos das estações meteorológica da região de estudo para verificar a variação ao longo da sazonalidade temporal bem como analisar a linha de tendência apresentada entre as variáveis por meio de análises de correlação de Pearson elaborada em linha de comando pelo software R Studio. Além disso, realizou-se a análise da variação do ICV e das classes de seca e estiagem ao longo do uso e ocupação do solo da região de estudo.

5.2.2 Análise de seca agrícola

A análise de seca agrícola foi realizada por meio da comparação entre os dados de ICV e da biomassa da superfície florestal, por meio do índice potencial de biomassa, ao longo das áreas dos imóveis rurais que compõem a região de estudos. Os dados dos imóveis foram obtidos por meio do Cadastro Ambiental Rural (CAR) disponibilizado de forma pública pelo SICAR (Sistema de Cadastro Ambiental Rural), Figura 19.

Figura 19 - Imóveis rurais presentes ao longo da sub-bacia do ribeirão Serra Azul



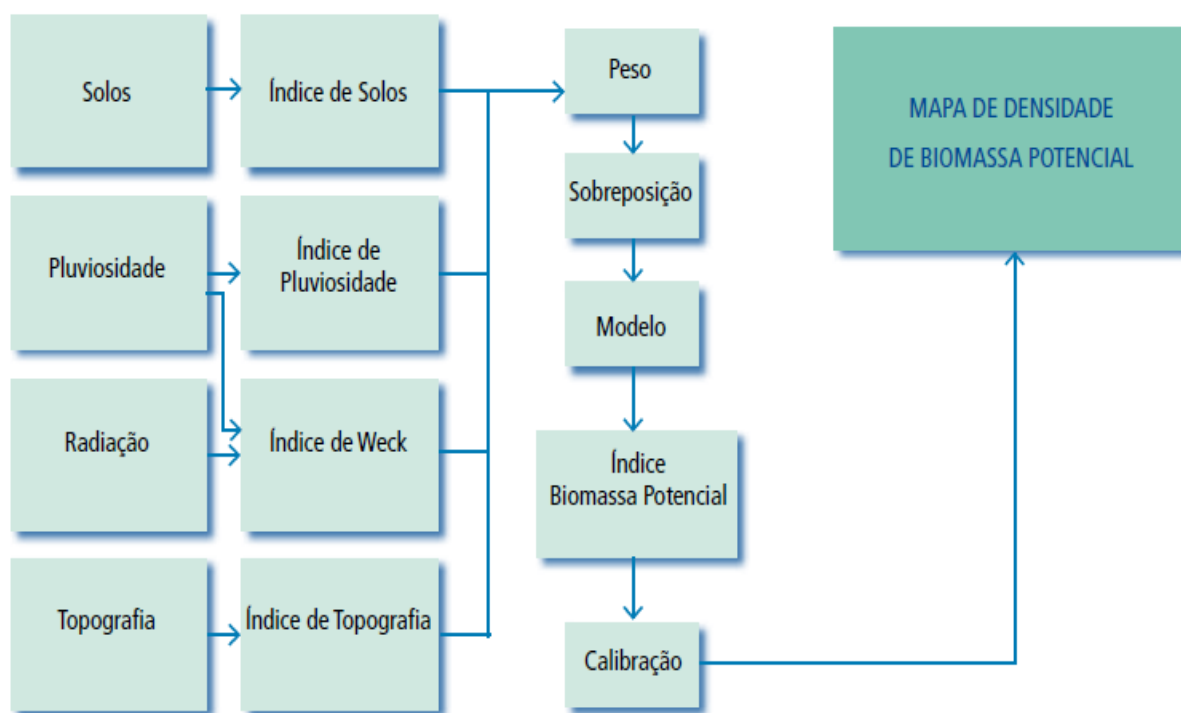
5.2.2.1 Cálculo do índice potencial de biomassa

O índice de Potencial de Biomassa (IPB) foi calculado por meio da adaptação da metodologia de estimativa de biomassa utilizada por Iverson (1994) e modificada por Martins *et al.* (2009), Figura 20, para o estado de São Paulo, com o objetivo de identificar a variação de biomassa ao longo dos imóveis rurais da região de estudo. Todos os cálculos foram feitos na plataforma DINAMICA EGO (SOARES FILHO *et al.*, 2004; SOARES FILHO *et al.*, 2016), conforme demonstrado pelo Apêndice I.

O cálculo do IPB foi realizado por meio da equação proposta por Iverson (1994), Equação 17. De acordo com Martins *et al.* (2009), o cálculo é realizado por meio da seleção de quatro camadas, sendo elas o Índice Climático Modificado de Weck, representado por $I(ICMW)$, a médias pluviométricas anuais, representado por $I(\text{pluviosidade})$, classes textura e fertilidade do solo, representado por $I(\text{solos})$, e altitude e inclinação do terreno, representado por $I(\text{topografia})$. Para o cálculo do IPB, cada camada recebeu um peso, que varia entre zero e 25, de modo que o resultado final máximo obtido seja igual a 100.

$$IPB = I(ICMW) + I(\text{pluviosidade}) + I(\text{topografia}) + I(\text{solos}) \quad (17)$$

Figura 20 - Diagrama da construção do modelo de SIG para geração de mapa com o potencial de biomassa



Fonte: Iverson (1994) modificado por Martins *et al.* (2009)

- **Topografia**

Os dados de altimetria foram obtidos por meio do projeto SRTM, descrito por Farr *et al.* (2007), que consiste em um modelo digital de elevação de quase toda superfície terrestre. Os dados foram obtidos por meio do site do serviço geológico americano (USGS). Com bases desses dados foi realizada a reclassificação e atribuição dos pesos para altimetria e declividade da região. Os pesos foram ajustados de acordo com as adaptações apresentadas por Martins *et al.* (2009) para metodologia de Iverson (1994), conforme demonstrado pela Tabela 7 e Tabela 8. Após esse processo realizou-se o somatório entre os pesos de altimetria e de declividade para obtenção do $I(\text{topografia})$.

Tabela 7 - Reclassificação e pesos das classes de declividade para região de estudo

Classe	Peso
0 - 10 %	12
10 – 20 %	10
> 20 %	8

Tabela 8 - Reclassificação e pesos das classes de topografia para região de estudo

Classe	Peso
0-15 m	8
15 – 50 m	11
50 – 750 m	13
750 – 1000 m	12
1000 – 1500 m	11
> 1500 m	7

- **Solos**

Os dados de tipologia do solo foram obtidos por meio do IDE SISEMA, que consiste em um sistema de informações geoespaciais do estado de Minas Gerais disponíveis pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e de acesso público. Os dados de fertilidade do solo foram obtidos no Atlas Nacional Digital do Brasil, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, que disponibiliza informações geoespaciais para todo território nacional. Com bases desses dados foi realizada a reclassificação e atribuição dos pesos para tipo de solo e fertilidade da região. Os pesos foram ajustados de acordo com as adaptações apresentadas por Martins *et al.* (2009) para a metodologia de Iverson (1994), conforme demonstrado pela Tabela 9 e Tabela 10. Após esse processo realizou-se o somatório entre os pesos de altimetria e de declividade para obtenção do $I(\text{solos})$.

Tabela 9 - Reclassificação e pesos das classes de tipo de solo para região de estudo

Classe	Peso
Fértil, textura média-fina a média-grossa	12
Fértil, textura fina ou grossa	10
Não -fértil	6

Tabela 10 - Reclassificação e pesos das classes de fertilidade para região de estudo

Classe	Peso
Média a alta.	13
Baixa a média.	11
Média a muito baixa	10
Baixa	9
Baixa a muito baixa	8
Muito baixa.	7

- **Pluviosidade**

Foram utilizados os dados de pluviosidade oriundos do projeto 3B43, multisatellite precipitation, do Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). Os dados foram obtidos por meio de código elaborado dentro da plataforma do Google Earth Engine (Apêndice C) e ajustados de modo que a unidade de medida se torne mm/ano. Com bases desses dados foi realizada a reclassificação e atribuição dos pesos para pluviosidade média anual, I(pluviosidade), de acordo com as adaptações apresentadas por Martins *et al.* (2009) para metodologia de Iverson (1994), conforme demonstrado pela Tabela 11.

Tabela 11 - Reclassificação e pesos das classes de precipitação para região de estudo

Classe	Peso
800 – 1000 mm/ano	10
1000 – 1200 mm/ano	11
1200-1600 mm/ano	13
1600-2000 mm/ano	16
2000- 2400 mm/ano	19
2400-2800 mm/ano	22
2800-3200 mm/ano	25
3200-3600 mm/ano	22
>3600 mm/ano	19

- **Índice Climático Modificado de Weck**

Utilizou-se a adaptação apresentada por Martins *et al.* (2009) (Equação 18), para a metodologia de cálculo do Índice Climático Modificado de Weck, criado por Weck (1970). Esse índice foi criado primeiramente para cálculo do potencial florestal de florestas da Alemanha e posteriormente replicado em regiões tropicais, conforme demonstrado por Weck

(1970). De acordo com as adaptações apresentadas por Martins *et al.* (2009), são necessários os dados de estação de crescimento (EC); solarimetria (S); PM1 (número de meses nos quais a precipitação média anual é inferior a 200 mm); PM2 (número de meses nos quais a precipitação média anual excede 200mm); e temperatura média (Tm) do mês mais quente.

$$ICMW = \frac{S(PM_1 + \sqrt{PM_2})EC}{100 (Tm)} \quad (18)$$

Os dados de estação de crescimento (EC) foram calculados por meio da análise climática da região de estudo, por meio da Equação 19, onde MS corresponde aos meses de seca.

$$EC = 12 - MS \quad (19)$$

Para delimitação dos dados dos meses de seca, foram utilizadas as cartas climáticas do Brasil, elaboradas pelo IBGE. Essas cartas dividem o território nacional em cinco grupos principais, sendo eles: ausência de períodos secos, com chuvas durante todo o ano (sem seca); período de seca entre 1 e 2 meses (1 a 2 meses secos); seca durante 3 meses do ano (3 meses secos); 4 a 5 meses sem chuvas (4 a 5 meses secos). Foi utilizada a delimitação de Martins *et al.* (2009) para os meses de déficit hídrico, sendo eles: sem seca (ausência de déficit hídrico); Subseca (déficit equivalente a um mês); 3 meses secos (3 meses de déficit) e 4 a 5 meses secos (5 meses de déficit hídrico).

Os dados de insolação diária, também denominado como solarimetria (S), foram obtidos, conforme sugerido por Martins *et al.* (2009), no Atlas Solarimétrico do Brasil, criado por (CRESESB, 2000). Aproveitaram-se os dados de pluviosidade do I(pluviosidade) para cálculo do PM1 e PM2, por meio da separação dos planos de informação dos rasters que possuem precipitação anual inferior ou superior a 200 mm. Por fim, os dados de temperatura do ar foram calculados por meio das informações presentes nas estações meteorológicas da área de estudo.

Após o cálculo do ICMW, realizou-se a reclassificação e atribuição dos pesos, I(ICMW), de acordo com as adaptações apresentadas por Martins *et al.* (2009) para metodologia de Iverson (1994), conforme demonstrado pela Tabela 12.

Tabela 12 - Reclassificação e pesos das classes de ICMW para região de estudo

Classe	Peso
50-100	2
100-150	3
150-200	4
200-250	5
250-300	6
300-350	7
350-400	8
400-450	9
450-500	10

5.2.2.2 Cálculo da biomassa (ton/ha)

O cálculo da biomassa em ton/ha foi feito por meio da multiplicação do IBP com valores médios de biomassa presentes na literatura. Para esse cálculo utilizaram-se os dados apresentados no pelo Sistema Nacional de Informações Florestais, SNIF (2020) (Anexo H), que fornece informações sobre os valores médios de biomassa florestal para as diferentes variações dos biomas do país. Os pesos calculados por meio do IBP possibilitam a dimensão da abrangência do estoque de biomassa ao longo da região de estudo. Foi determinado que a biomassa seca que consiste no estoque potencial é de 50%, conforme sugerido por Melo e Durigan (2006). Analisaram-se os trabalhos de Baccini *et al.* (2012) e Soares Filho *et al.* (2016) para verificar se os resultados encontrados corroboravam com os cálculos de biomassa já estimados na literatura em território nacional.

5.2.3 Análise de seca socioambiental

As análises realizadas para seca socioambiental foram correlacionadas com fatores relacionados aos serviços ecossistêmicos. De acordo com Maes, Crossman e Burkhard (2018), os serviços ecossistêmicos possuem diversas aplicações para gestão sustentável de uma região, bem como para a identificação de um determinado recurso. Dessa forma, eles podem ser aplicados dentro da proteção ambiental, conservação e restauração da natureza e risco ou delimitação de desastres. No aspecto que tange a ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável), a análise de seca socioambiental tem o enfoque na disponibilidade hídrica, adentrando o objetivo de número 6, referente a água e saneamento, como discutido por Sanahuja (2014). Assim, utilizou-se dados referente ao balanço hídrico da região e de saneamento para analisar a disponibilidade do recurso ao longo do período analisado.

5.2.3.1 Cálculo do balanço hídrico

Dentro da área de hidrologia, autores como Tucci (2012), e Vaz e Hipólito (2013), demonstram o balanço hídrico como principal premissa dessa área, sendo ela denominada como a conservação da massa dentro do ciclo hídrico por meio da aplicação das variáveis apresentadas pela Equação 20.

$$(P+Q_e) - (Q_s+I+E+ET) = \Delta V \quad (20)$$

Onde P é precipitação (mm); Q_e a vazão de entrada no sistema (m³/h); Q_s a vazão de saída do sistema (m³/h); I a infiltração (mm) com o valor de 0,00283 para o solo da região de estudo como proposto por ANA (2018); E a evaporação (mm); ET a evapotranspiração (mm) e ΔV variação total do volume armazenado (m³).

Dentro do campo do sensoriamento remoto, Macedo *et al.* (2018) e Moreira *et al.* (2018) propõem alterações na equação de balanço hídrico para a realização do cálculo por meio do uso de imagens TRMM e MODIS16A2. Para isso, os autores propõem a aplicação da Equação 21.

$$(P+Q_e) - (Q_s+I+ET) = \Delta V \quad (21)$$

Onde P é precipitação (mm); Q_e a vazão de entrada no sistema (m³/h); Q_s a vazão de saída do sistema (m³/h); I a infiltração (mm) com o valor de 0,00283 para o solo da região de estudo como proposto por ANA (2018); ET a evapotranspiração (mm) e ΔV variação total do volume armazenado (m³).

Foram utilizadas as estações fluviométricas da ANA como referência para o cálculo de balanço hídrico da região e para o cálculo das vazões de saída dentro dos pontos referenciados. Além disso, foram utilizados os dados de decisão de outorga (IGAM, 2020) para o cálculo das vazões de saída (Anexo J). Utilizou-se os dados de precipitação das imagens TRMM e os dados de evapotranspiração do sensor MODIS16A2 para os cálculos de entradas e saídas da região. Por fim, a vazão de entrada foi calculada por meio da aplicação do método Soil Conservation Services (USDA, 1986).

- Método Soil Conservation Services

O Método Soil Conservation Services consiste no cálculo da vazão máxima de entrada de uma bacia por meio da análise das modificações de uso do solo de uma região. De acordo com (USDA, 1986), esse método utiliza a metodologia da curva número, que consiste em uma série de equações utilizadas para a realização do cálculo de vazão. Para isso, foi utilizado a

proposta descrita por Tucci (2012), como demonstrado nas relações a seguir representadas pelas Equações 22 a 27.

$$Q_p = \frac{2,08 \times A}{t_a} \quad (22)$$

Onde Q_p é a vazão em m^3/s ; A é a área de drenagem considerada (m^2) e t_a é o tempo de ascensão (h).

$$t_a = 0,6 * t_c + \frac{D}{2} \quad (23)$$

Onde t_a é o tempo de ascensão (h); D é a duração da chuva obtida pela Equação 24; e t_c é o tempo de concentração obtido pela Equação 25.

$$D = 0,133 t_c \quad (24)$$

$$t_c = 3,42 * L^{0,8} * \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7} * (S_o)^{-0,5} \quad (25)$$

Onde t_c é o tempo de concentração; L o comprimento da bacia (m); CN o número da curva obtido pela Equação 27 e S_o a declividade (m/m) obtida por meio da divisão entre a cota da nascente (1160 m) até a foz da região (700 m). Além disso, calculou-se o armazenamento máximo da bacia, conforme demonstrado pela Equação 26.

$$S_d = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN} \quad (26)$$

Onde S_d é o armazenamento máximo da bacia e CN é o número da curva (< 100), conforme os dados do Anexo I. Os dados de CN foram analisados conforme as informações disponíveis pelo projeto MAPBIOMAS para todo o território brasileiro. Esses dados podem ser utilizados para diversas aplicações, porém é necessário a verificação das classes para evitar erros de classificação espacial. No aspecto que tange a pesquisa, os dados do MAPBIOMAS são aptos para utilização pelo fato que através do conhecimento de campo, foi possível realizar ajustes para deixar a classificação do uso do solo compatível com a realidade do local. Posto isso, para a região de estudo, realizou-se a classificação dos dados do MAPBIOMAS para seis classes: floresta ($CN = 70$), campestre ($CN = 71$), não floresta ($CN = 98$), agricultura ($CN = 78$), pastagem ($CN = 74$) e água ($CN = 74$). Todos os dados relativos à curva número foram analisados para a tipologia de solo C.

$$CN = \frac{CN_{flor} \times A_{flor} + CN_{camp} \times A_{camp} + CN_{agri} \times A_{agri} + CN_{past} \times A_{past} + CN_{água} \times A_{água}}{A_{total}} \quad (27)$$

Onde CN é o número da curva para cada tipo de uso do solo obtido pela média ponderada; A se refere a área de determinado uso do solo da bacia (m) e A_{total} é a área total da bacia.

5.2.3.2 Comparação com os dados de biomassa e do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento)

A partir os dados obtidos pelo modelo de balanço hídrico, realizou-se uma comparação com os dados de biomassa obtidos no modelo IBP para análise de seca agrícola. Essa ação tem

como objetivo identificar a relação natural, dentro da bacia, existente entre a produção florestal e o balanço hídrico, utilizando-se de análise de regressão linear. Além disso, utilizou-se os dados de saneamento disponíveis ao público em SNIS (2020) e os dados de volume do reservatório divulgados pela COPASA para identificação da disponibilidade do recurso hídrico para a população da região de estudo. A comparação foi realizada por meio da aplicação de análise de regressão e correlação entre dados econômicos e de ICV.

5.2.4 Análise de regressão para identificação da intensidade da seca ao longo da região de estudo

Para a realização do monitoramento da seca ao longo do período de estudo (2013 a 2018), realizou-se a comparação entre os produtos oriundos das análises do sensor MODIS, correspondendo ao ICV, com os dados de precipitação, umidade do solo, gravidade de seca, biomassa e métricas da paisagem. O coeficiente de determinação (R^2) foi utilizado como critério de avaliação da capacidade do ICV de monitorar a eficácia da seca. Além disso, o coeficiente de correlação de Pearson (R), proposto por Pesarson (1982) e Pearson; Fischer e Inman(1994).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Seleção do índice de vegetação

Os resultados apresentados pelo teste de Cox-Stuart (Apêndice D) permitiram demonstrar a presença de padrões de sazonalidade ao longo do tempo. Os resultados referentes à hipótese H_0 (Tabela 13) demonstraram que, quando o p-valor é maior que 0.05, em um intervalo de confiança de 95%, não há evidências estatísticas para se rejeitar a hipótese. Ou seja, os valores de EVI da série temporal não apresentam tendência ou sazonalidade. Em relação aos dados de NDVI, foi possível identificar a presença de tendência ou sazonalidade, pois o p-valor apresentou valores inferiores a 0.05, ou seja, a hipótese nula foi rejeitada.

Tabela 13 - Análise das hipóteses do Teste de Cox-Stuart para os índices de vegetação do sensor MODIS

	EVI	NDVI
Nº de observações	36	36
P-valor	0.5	0.014408
Tamanho da amostra	72	72

Rejeitar a hipótese H_0 significa que a variação do comportamento da vegetação não apresenta uma alteração substancial, ou seja, há uma linearidade do vigor vegetativo presente em uma superfície (CHAVES; MATAVELI; JUSTINO, 2014; GOW *et al.*, 2016).

Os valores encontrados permitiram indicar, para a série de NDVI, um comportamento normal do vigor da vegetação ao longo da região de estudo. De acordo com Chaves, Mataveli e Justino (2014), o vigor vegetativo tende a aumentar nos períodos de chuva e a diminuir nos período seco. Dessa forma, é possível identificar que o índice não apresentou um comportamento de tendência, mas de sazonalidade (Figura 21), pois a série apresentou uma sucessão regular, explicada pela variação do vigor vegetativo ao longo das estações do ano no período de estudo.

Através da Tabela 14 e Tabela 15, foi possível identificar a correlação dos índices de vegetação com as variáveis meteorológicas. De acordo com os estudos de Cohen (1998), Dancey e Reidy (2006) e Paranhos *et al.* (2014), em relação a análise de correlação, todas as variáveis meteorológicas não apresentaram valores de correlação forte, nesse caso, acima de 0.8 (Apêndice F). A variável evapotranspiração foi aquela que melhor se correlacionou com os índices de vegetação, apresentando no NDVI uma correlação moderadamente negativa, a saber entre -0.8 e -0.5, e no EVI uma correlação fraca negativa, com valores entre -0.5 e -0.1. As variáveis precipitação e temperatura do ar apresentaram uma correlação fraca positiva, entre

0.1 e 0.5, para os dois índices de vegetação, sendo o EVI aquele que apresentou melhor correlação.

Figura 21 - Variação sazonal da média de NDVI ao longo das estações do ano no período de estudo (2013 - 2018)

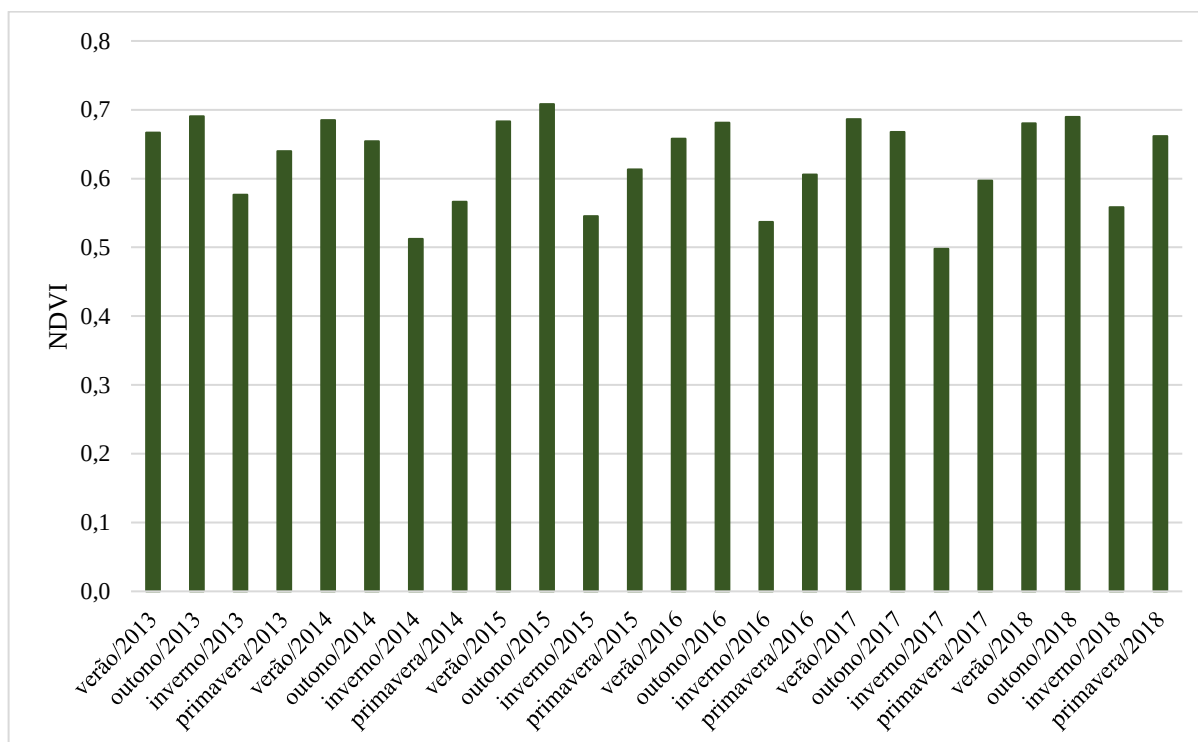


Tabela 14 - Correlação entre os valores médios de NDVI e as variáveis meteorológicas para o período de 2013 a 2018 por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r).

	NDVI	Evapotranspiração	Precipitação	Temperatura do ar
NDVI	1			
Evapotranspiração	-0.52	1		
Precipitação	0.11	0.22	1	
Temperatura do ar	0.23	-0.12	-0.097	1

Tabela 15 - Correlação entre os valores médios de EVI e as variáveis meteorológicas para o período de 2013 a 2018 por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r).

	EVI	Evapotranspiração	Precipitação	Temperatura do ar
EVI	1			
Evapotranspiração	-0.35	1		
Precipitação	0.28	0.22	1	
Temperatura do ar	0.25	-0.12	-0.097	1

Foi identificado que a resposta espectral dos índices de vegetação não ocorre simultaneamente às variáveis climáticas, apresentando uma defasagem quando correlacionados. Na literatura, pesquisas como a de Nora e Santos (2010) e Quesada *et al.* (2017) demonstram que esse processo é oriundo do fato da vegetação apresentar mudanças fisiológicas após a ocorrência de um determinado fenômeno ambiental e não durante o acontecimento do evento meteorológico. A relação entre índices e variáveis meteorológicas só

conseguem manifestar uma resposta espectral forte, ou seja, maior que 0.8, em casos onde a seca prolongada possua como principal consequência o déficit hídrico. Isso acontece pelo fato da floresta ser capaz de suportar curtos períodos de seca sem apresentar alterações no dossel e na coloração das folhas (ROSA *et al.*, 2013).

Identificou-se que o EVI apresenta uma maior dependência em relação a variável precipitação e o NDVI à temperatura. Essa relação foi corroborada em estudos apresentados por Kafer e Rex (2020) e Nora e Santos (2010), que discutiram que a temperatura do ar se correlaciona melhor com o NDVI se comparado com a precipitação, pelo fato das formações florestais possuírem uma resistência a curtos períodos de escassez hídrica.

De acordo com Chaves, Mataveli e Justino (2014), em relação ao índice de vegetação, à medida que a vegetação se desenvolve, o desvio padrão em uma série temporal aumenta. Os menores valores desse parâmetro tendem a aparecer nos períodos de seca, principalmente no inverno, entre os meses de agosto e outono, estando relacionado à falta de chuva, que causam uma diminuição dos valores dos índices de vegetação.

Em regiões de menor densidade de vegetação, como em transições do espaço rural para o urbano, o NDVI apresenta uma maior sensibilidade em relação ao EVI. Isso acontece pelo fato do NDVI apresentar, em áreas com intensa modificação do uso do solo, uma baixa saturação ao aumento de biomassa, apresentando uma melhor resposta nessas áreas quando comparado ao EVI (HUETE *et al.*, 2002). No entanto, estudos como o de Branco (2016), que diferentemente dos resultados encontrados, demonstrou que o EVI foi aquele que apresentou o melhor desempenho em relação ao sensor MODIS. Contudo, vale destacar que a principal causa das diferenças entre os resultados observados e aqueles advindos da pesquisa de Branco se dá pelo fato da região analisada por ele apresentar uma menor intervenção antrópica, com a maior presença de florestas, em razão do fato de estar localizada em uma reserva biológica. Dessa forma, quando comparados, estudos como o de Nora e Santos (2010), demonstram que o NDVI tende a apresentar uma maior variabilidade em relação ao EVI por apresentar uma maior sensibilidade a mudança do dossel causadas por mudanças antrópicas.

Como observado, o NDVI, em comparação ao EVI, demonstrou que, para a região de estudo, possui uma maior eficácia para a determinação da variação dos fatores meteorológicos (e suas consequências), para áreas marcadamente antropogenizadas. Na região de estudo, o NDVI permitiu uma melhor delimitação da influência da sazonalidade na sub-bacia do Ribeirão Serra Azul.

Ano	Sem ocorrência		Seca suave		Seca moderada		Seca severa		Seca extrema	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
2013	20474.35	42.82	25465.05	53.26	1678.12	3.51	193.39	0.40	6.24	0.01
2014	6444.24	13.48	37555.03	78.54	3537.16	7.40	255.77	0.53	24.95	0.05
2015	14866.05	31.09	30773.91	64.36	2015.00	4.21	162.20	0.34	-	-
2016	14410.65	30,14	30761.43	64.33	2539.02	5.31	106.05	0.22	-	-
2017	11659.53	24.38	33437.70	69.93	2657.55	5.56	62.38	0.13	-	-
2018	25153.13	52.60	21478.73	44.92	1160.34	2.43	24.95	0.05	-	-

A classe de seca severa apresentou porcentagem menor que 1% em todas as estações analisadas. Vale destacar que, para aquelas áreas identificadas como de seca severa, com dimensões de mais de 143 hectares ao longo da área de estudos, essas áreas também apresentaram regiões de seca extrema. O ano de 2014 e 2015 foram aqueles que apresentaram maiores extensões de seca extrema ao longo da região de estudo, dentro da série histórica. A intensidade da seca durante esse período também foi encontrada em outras regiões, como demonstrado por Uttaruk e Laosuwan (2017), que permitiram identificar que a medida que o valor de ICV diminui, maior a extensão de áreas de seca em uma determinada região, para o período compreendido de 2014 a 2016.

Esses resultados observados são corroborados pelos estudos de Kamble *et al.* (2019) e Eyoh, Okeke e Ekpa (2019), realizados acerca da análise de secas em regiões agrícolas. Esses autores demonstraram que as chuvas possuem uma forte interação com a vegetação, além de influenciar diretamente no vigor vegetativo de uma região. Assim, quanto maior o armazenamento de água em uma estrutura vegetal, maior o ICV apresentado e menor possibilidade de a vegetação sofrer com eventos de seca.

Outro aspecto observado pela análise permitiu identificar de modo espacial a expansão da seca, como demonstrado no Apêndice G. Além disso, foi possível identificar, por meio de técnicas de geoprocessamento, a extensão de áreas de abrangência de cada tipo de classe. De acordo com Yulistya, Wibowo e Kusratmoko (2019), o ICV possui a capacidade de demonstrar a pior e a melhor condição de seca ao longo de um determinado período. Para eles, o índice permite que, através dos eventos de estiagem ocasionados pela falta de chuvas, as áreas de secas apresentem um avanço se comparado com as áreas de umidade. Conforme Baniya *et al.* (2019) a variação da extensão das áreas das secas o ICV pode apresentar tendências diferentes. Dessa forma, à medida que a seca se expande espacialmente conforme a variação sazonal, o valor do ICV tende a diminuir ao longo da região de estudo. Além disso, o índice tende a apresentar uma diminuição à medida que as temperaturas se intensificam, sendo possível identificar essa relação principalmente em regiões tropicais e de monções.

Como visto, a aplicação do ICV permite o controle e manutenção do avanço de áreas de seca em sub-bacias. Em regiões brasileiras, nas pesquisas realizadas por Cunha *et al.* (2017) e Leivas *et al.* (2014), é demonstrado que o ICV pode servir como um indicador para análise de diferentes aspectos da seca em regiões tropicais. Dessa forma, o ICV consegue explorar diversas condições de estresse hídrico em diversas tipologias de paisagens.

6.3 Eficácia do ICV para o monitoramento de diferentes tipos de secas na bacia hidrográfica do Ribeirão Serra Azul

6.3.1 Seca Meteorológica

O ICV apresentou uma melhor correlação com variáveis meteorológicas em comparação com dos dados brutos de índice de vegetação (EVI e NDVI), variando entre 0.54 e 0.83, conforme demonstrado na Tabela 17.

Tabela 17 - Correlação entre os dados meteorológicos e o índice de condição de vegetação ao longo da série temporal analisada (2013-2018)

	ICV	Temperatura do ar	Evapotranspiração	Umidade	Precipitação
ICV	1				
Temperatura do ar	0.75	1			
Evapotranspiração	0.83	0.88	1		
Umidade	0.67	0.27	0.57	1	
Precipitação	0.54	0.71	0.86	0.51	1

Em relação às variáveis, foi possível verificar que a precipitação apresentou a menor correlação (0.54), que de acordo com Pearson (1982) e Paranhos *et al.* (2014) para o valor encontrado, corresponde a uma relação moderadamente positiva. Relação parecida pode ser observada pela umidade, que apresentou a correlação de 0.67. Para a variável evapotranspiração foi observada uma maior correlação nas análises apresentadas, de 0.83. Segundo Pearson (1982) e Paranhos *et al.* (2014), essa relação é denominada como fortemente positiva. No caso da temperatura do ar, a relação também foi considerada fortemente positiva (0.75), permitindo inferir que, à medida que a temperatura do ar e a evapotranspiração da região aumenta, o valor de ICV tende a aumentar na área de estudo.

Quando analisadas as relações entre as variáveis, foi possível identificar que o aumento da umidade do ar, precipitação e temperatura do ar auxilia no consequente aumento da evapotranspiração da vegetação, causando uma diminuição das áreas de seca delimitadas pelo ICV. Esse fenômeno se deve ao aumento do vigor vegetativo na região. Isso pode ser verificado

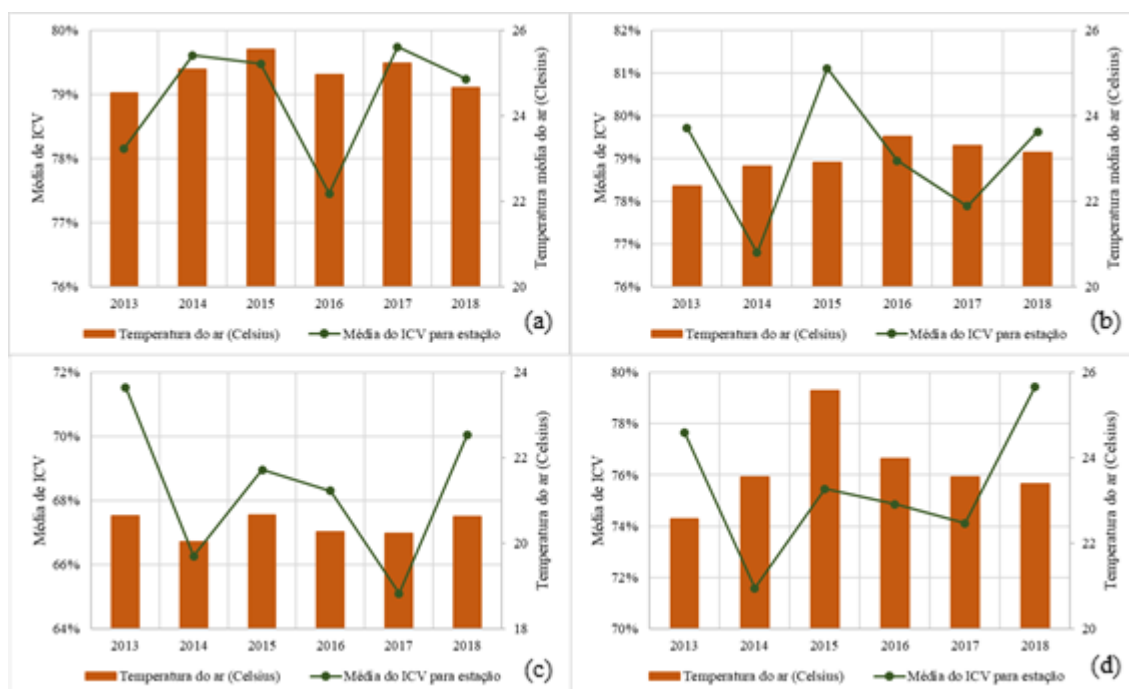
no trabalho a partir da correlação fortemente positiva apresentada entre essas variáveis, ao longo do período analisado.

Essa relação moderada e fortemente positiva do ICV com fenômenos climáticos foi corroborada em diversos estudos internacionais, principalmente com o enfoque em secas e estiagens. É possível verificar a relação desse índice com variáveis meteorológicas em estudos como o de Liang *et al.* (2017), cujo trabalho demonstrou que, em regiões de monções chinesas, a variação sazonal das secas podem apresentar diferenças conforme as características regionais de um determinado local. Em regiões sul-americanas, Zambrano *et al.* (2016) e Gomes *et al.* (2019), demonstraram que o ICV apresenta uma boa correlação com dados meteorológicos, servindo como ferramenta para análises em regiões onde a seca vem aumentando, principalmente quando associado a prejuízo de cultivos agrícolas.

6.3.1.1 Temperatura do ar

A Figura 22 demonstra a relação entre o ICV médio de cada estação do ano com a variação média da temperatura do ar, medidas pelas estações meteorológicas presentes na região de estudo. No verão, foi possível identificar que as temperaturas variaram entre 24 e 25°C ao longo de uma variação média de 77 a 80% de ICV médio, caracterizando a presença de seca suave ao longo da região de estudo. No outono, as temperaturas variaram entre 22 e 23°C ao longo de uma variação média entre 77 a 81%, demonstrando a presença de seca suave e sem ocorrência de seca. No inverno, as temperaturas do ar e o ICV apresentaram redução, variando na faixa de 20°C e com ICV entre 65 e 72%, variando em uma faixa de seca moderada e seca suave. Na primavera, a temperatura do ar variou entre 22 e 25 °C e o ICV entre 72 e 79%, ou seja, demonstraram um episódio de seca suave.

Figura 22 - Variação do ICV médio e da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) para cada estação do ano, onde (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera



O Anexo D demonstra que, de acordo com o INMET (2020), o Brasil recebe bastante influência da sazonalidade ao longo das estações do ano, principalmente com a presença de baixas temperaturas no período seco e altas temperaturas no período de chuva. Além disso, é possível verificar que a variação de temperatura se altera mediante o comportamento de outros fatores meteorológicos, como massa de ar. De acordo com INFOCLIMA (2020), e apresentado no Anexo C, entre junho a outubro de 2013, o Brasil apresentou temperaturas acima da normal climatológica, devido à passagem de massas de ar quente nos primeiros meses do ano.

O estado de Minas Gerais tem por característica a presença de temperaturas mínimas menores no período do inverno e temperaturas máximas maiores no período do verão e primavera. Isso coincide com um aumento das temperaturas médias dessa região nos períodos úmidos. O principal fator que influencia nesse fenômeno é a passagem de massas de ar sobre a Região Sul e Sudeste nas épocas mais frias do ano. Um exemplo é a atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) do setor oeste nessa região que causa a inibição da convecção e possibilita a presença de céu claro durante o verão (REBOITA *et al.*, 2015). Para a região de estudos, foi possível identificar que, nesse período, as áreas de seca severa e extrema aumentaram, como mostrado nas Figura 23 e Figura 24.

Figura 23 - Extensão de seca severa para cada estação ao longo da variação de temperatura do ar, onde (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno, (d) Primavera

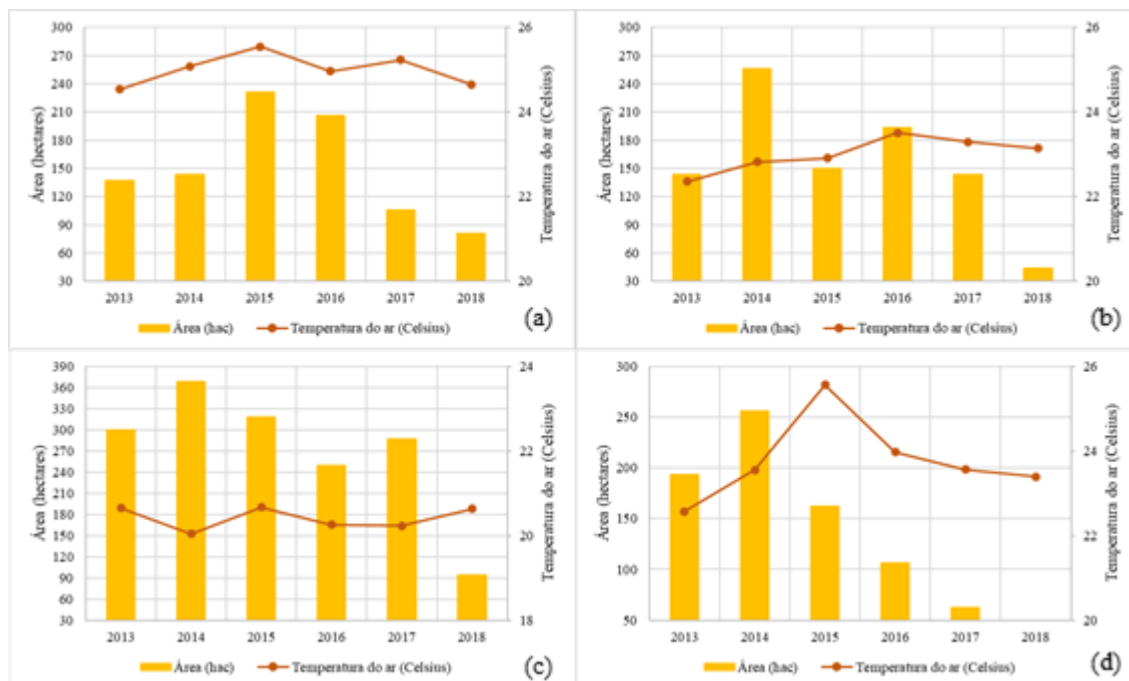
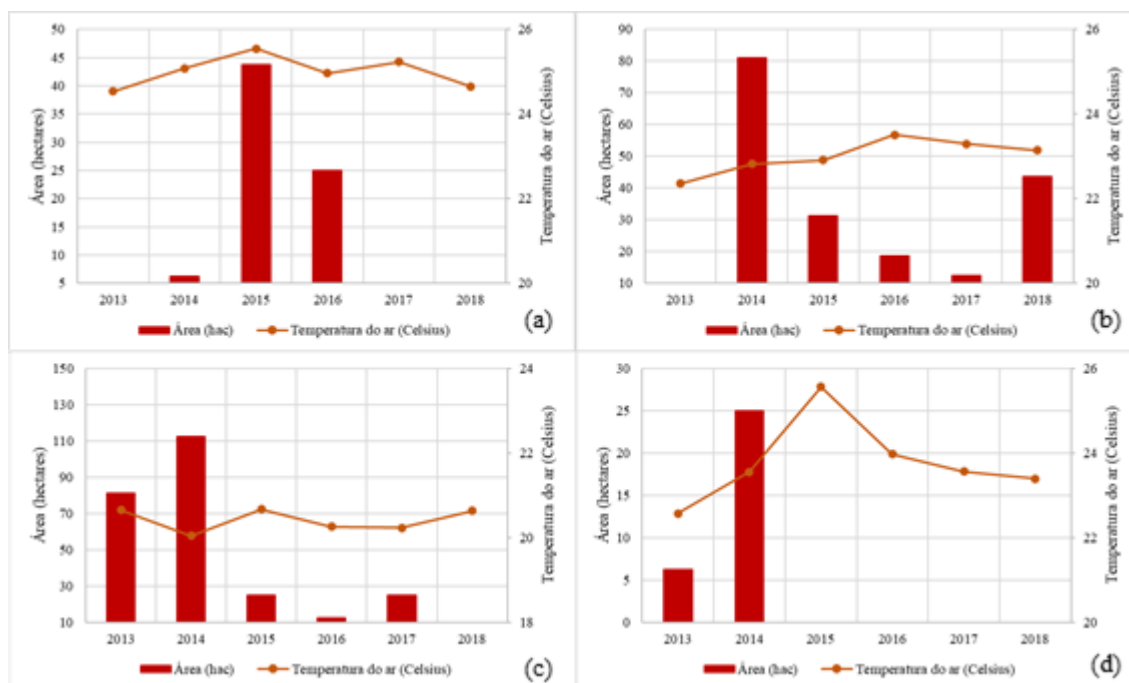


Figura 24 - Extensão de seca extrema para cada estação ao longo da variação da temperatura do ar, onde (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno, (d) Primavera



Vale destacar a Figura 23, que demonstra um aumento da área de seca severa e das temperaturas para o período entre 2014 e 2016, principalmente nas estações úmidas, caracterizadas pelo verão e primavera. Tal fenômeno ocasionou a criação da portaria que reconheceu a escassez hídrica na extensão da sub-bacia do Ribeirão Serra Azul, em razão do

agravamento do período de seca na região (MINAS GERAIS, 2015). Foi possível identificar um aumento gradual da seca no outono, nesse intervalo de tempo. De acordo com INFOCLIMA (2020), entre julho de 2014 e fevereiro de 2015 as temperaturas se encontravam acima da normal climatológica para a região, tendo o seu período agravado entre agosto de 2015 e fevereiro de 2016.

6.3.1.2 Evapotranspiração

A vegetação é um importante fator para a manutenção da evapotranspiração de uma região, principalmente quando associado com a análise e estudos de distribuição de chuvas. Além disso, a variação da ocupação do solo pode auxiliar no aumento do saldo de calor na superfície, influenciando na elevação da temperatura do ar e consequente aumento da evapotranspiração das áreas vegetais situadas nessa região (JARDIM; MOURA, 2018).

A relação entre o ICV médio apurado para cada estação e os dados da variação média da evapotranspiração, conforme a figura 25, demonstrou que, para o período do verão, essa evapotranspiração variou entre 109 e 142 mm/h, para uma média de ICV oscilando entre 77 e 80%. Em relação ao outono, os dados da evapotranspiração variaram entre 70 e 93 mm/h, com a média do ICV variando entre 77 e 81%, enquanto que para o inverno, a redução na faixa do ICV e da evapotranspiração demonstrou uma variação indo de seca moderada à seca suave (65 a 72% e 7 a 31 mm/h). Por fim, para a primavera, a evapotranspiração mostrou-se em uma faixa de 68 a 106 mm/h e o ICV entre 72 e 79%.

Tratando-se da correlação, a tabela 17 demonstra um valor de 0.83 entre as variáveis ICV e evapotranspiração, o que pode ser considerada como uma correlação forte, podendo-se inferir que a evapotranspiração influencia diretamente na extensão da seca na região de estudo, principalmente nas estações de seca (outono e inverno), conforme demonstrado pela figura 25. Ainda que os dados apontem que a evapotranspiração influencia diretamente na extensão da seca, eles não permitiram concluir que ela é o principal fator que influencia a expansão das áreas de seca severa e extrema na região de estudo (Figura 26 e Figura 27). Na região de estudo, pesquisas como a de Neves, Versiani e Rodrigues (2007), mostram que existe uma correlação forte entre o total de evapotranspiração e o balanço hídrico da região, sendo essa relação também influenciada nos períodos de estiagem ao longo do ano hidrológico.

Figura 25 - Variação do ICV médio e evapotranspiração para cada estação do ano, onde (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera

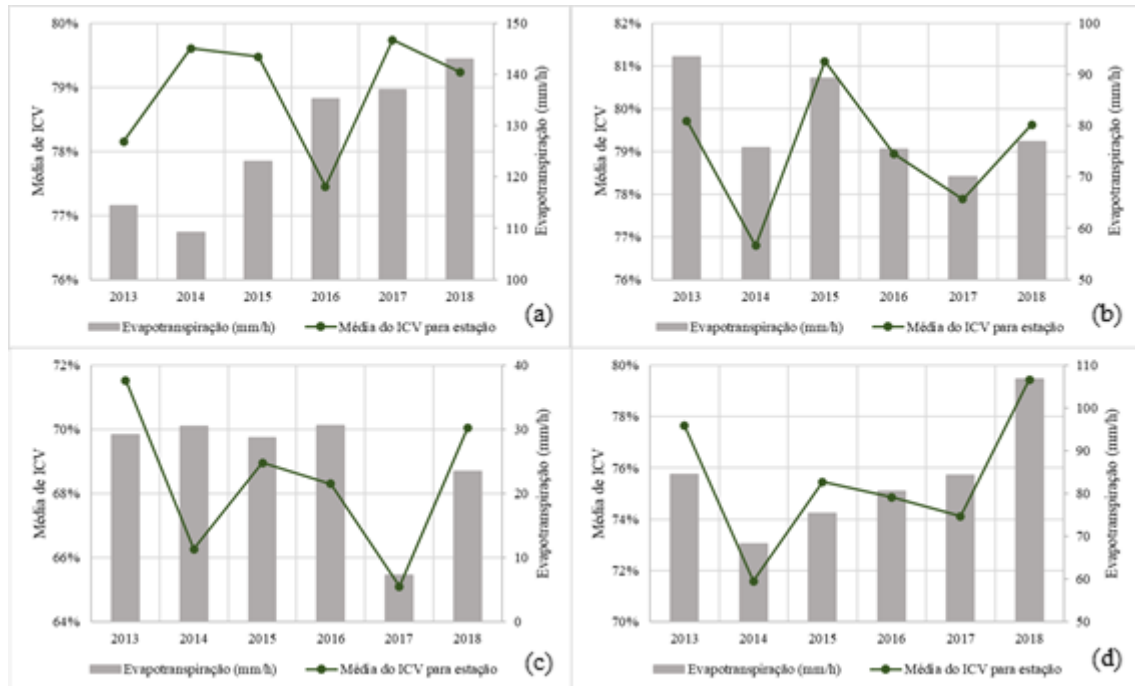


Figura 26 - Extensão de seca severa para cada estação ao longo da variação da evapotranspiração, onde (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno, (d) Primavera

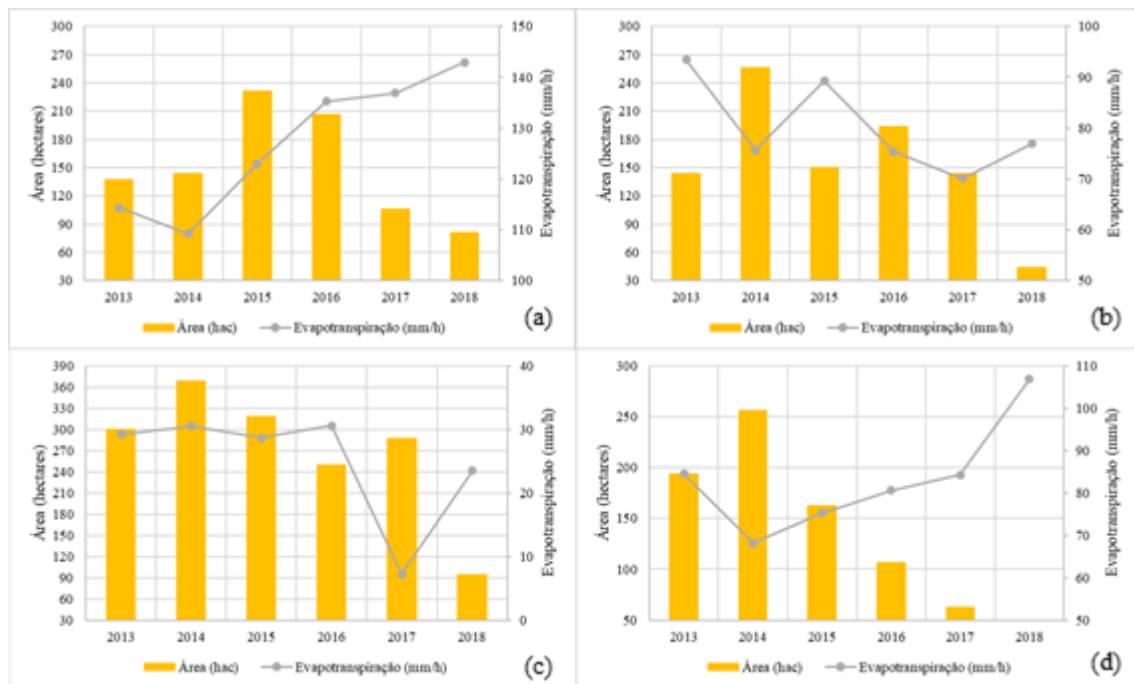
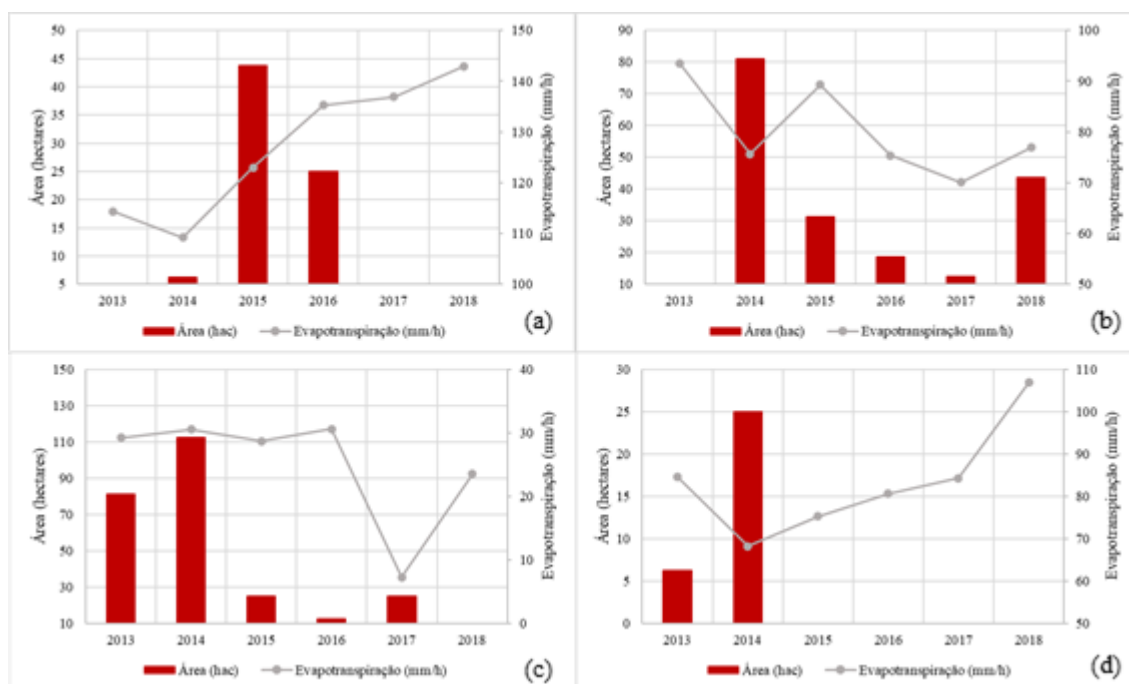


Figura 27 - Extensão de seca extrema para cada estação ao longo da evapotranspiração, onde (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno, (d) Primavera



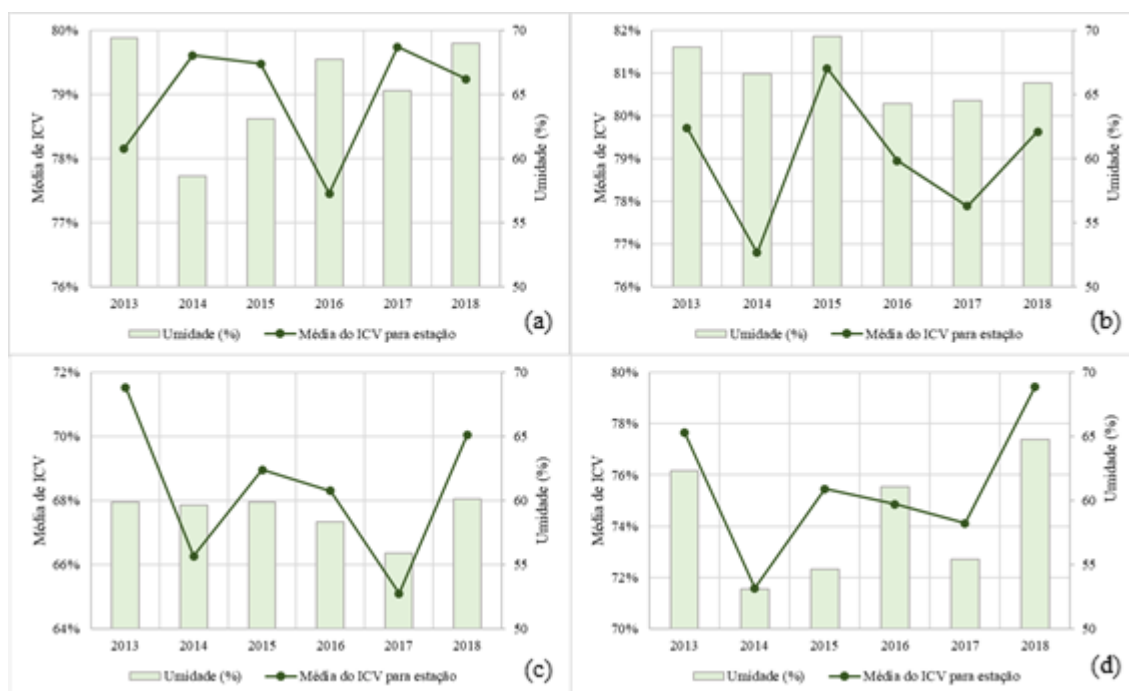
Um dado importante acerca da evapotranspiração é que ela pode variar e sofrer influência da sazonalidade, de acordo com o Anexo E (INMET, 2020). Isso pode ser demonstrado quando se observa os meses chuvosos, onde a evapotranspiração apresentou altos valores ao longo de todo território nacional. Para a região de estudos, durante o período seco, (entre as estações de outono e inverno), observou-se baixos valores de evapotranspiração, principalmente nos meses de junho, julho e agosto. Neves, Versiani e Rodrigues (2007) demonstra que no período de outubro a março, ou seja, nas estações de chuva, a evapotranspiração atinge os valores mensais mais elevados, corroborando com os resultados encontrados. Segundo os autores, os valores de temperatura do ar é o principal fator que influencia nesse fenômeno. Essas observações corroboram os resultados de correlação de Pearson obtidos pelo presente trabalho, de 0.88 entre as variáveis, encontrados na Tabela 17.

6.3.1.3 Umidade relativa do ar

Muito se discute acerca da relação existente entre umidade e vegetação, em que ela não se dá somente em razão de fatores ambientais. Tal entendimento vai ao encontro da correlação observada entre essas variáveis, de acordo com a Tabela 17. Segundo Souza *et al.* (2019), a vegetação possui a capacidade de sofrer variação a diversas condições ambientais, como evapotranspiração, umidade, temperatura e precipitação. A análise da correlação (0.67) apurada entre as variáveis ICV e umidade (Tabela 17) foi considerada moderada para a região, sendo possível verificar que a umidade apresenta uma influência média na extensão da seca ali

presente. Conforme mostrado pela Figura 28, no verão, foi possível verificar uma variação dos dados de umidade, não sendo possível identificar um crescimento ou decrescimento da variável ao longo da variação de ICV.

Figura 28 - Variação do ICV médio e umidade para cada estação do ano, onde (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera



Voltando aos dados, as análises realizadas não possibilitaram identificar a influência da umidade na expansão das áreas de seca severa e extrema na região de estudo, conforme mostrado pelas Figura 29 e Figura 30. Foi possível identificar que nos períodos de chuva, a umidade apresentou um aumento no período de 2014 a 2018 e uma queda entre 2016 e 2017. Nos períodos de seca, principalmente no inverno, foi possível verificar uma queda da umidade média.

Do mesmo modo que a evapotranspiração, também a umidade pode variar e sofrer influência da sazonalidade (Anexo F, INMET, 2020). Nos meses chuvosos, a umidade observada tende a apresentar altos valores, ao longo de todo território nacional, devido às altas temperaturas. Durante o período seco, o Brasil apresentou baixos valores de umidade, em razão da redução das temperaturas.

Figura 29 - Extensão de seca severa para cada estação ao longo da variação da umidade, onde (a)Verão, (b) Outono, (c) Inverno, (d) Primavera

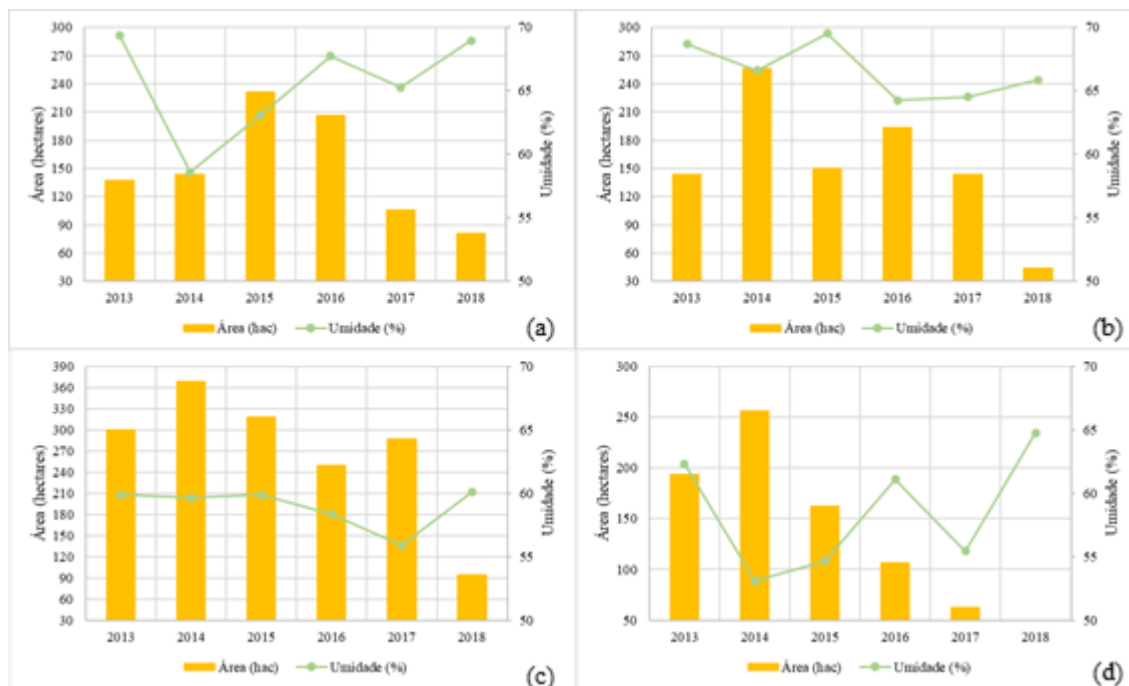
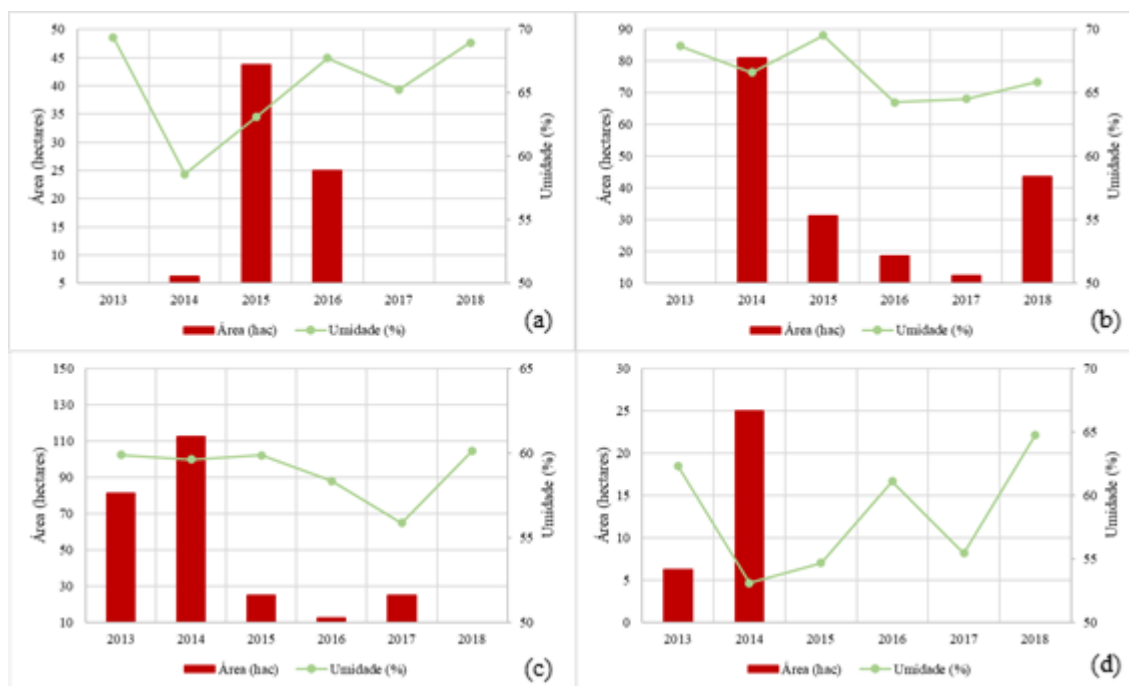


Figura 30 - Extensão de seca extrema para cada estação ao longo da variação da umidade, onde (a)Verão, (b) Outono, (c) Inverno, (d) Primavera



De acordo com Infoclima (2020), as variações de umidade ao longo do tempo de estudo estão relacionados às Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU) e à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Essas zonas são os principais responsáveis por levar umidade e

precipitação as regiões brasileiras. Estudos como o de Sacramento Neto, Escobar e Silva (2010), Pallotta e Nakazato (2015) e Lima e Cupolillo (2018) relatam que essas duas zonas de convergência possuem como característica a presença de grande quantidade de umidade. De acordo com os autores, a principal diferença entre essas zonas é relativa ao escoamento superficial, pois as ZCAS têm a presença de nebulosidade e precipitação e a ZCOU desfavorece o aparecimento e persistência dessas características em uma região de estudo.

O Anexo C demonstra que em janeiro de 2013 o aumento da umidade proporcionado pela ZCOU foi responsável por episódios de alagamentos em algumas partes da região Sudeste. Em novembro do mesmo ano, ocorreu a convergência da umidade e o aparecimento do período chuvoso na Região Sudeste, porém não houve o aparecimento da ZCAS e a consequente caracterização da pluviosidade da região. Devido à baixa do período de chuvas e a não formação da ZCOU, a precipitação foi abaixo do esperado no território nacional. Em 2015, ocorreu o aparecimento da ZCOU, mas sem intensidade suficiente para produção de chuvas e consequente recuperação das reservas hídricas da região Sudeste. A falta de umidade nesse período, proporcionou a entrada tardia das estações chuvosas, e em novembro de 2015, as temperaturas excederam 40°C no estado de Minas Gerais. A ZCOU proporcionou o aparecimento de chuvas no período de dezembro de 2016 e em julho de 2017.

Diante do exposto, foi possível verificar que as zonas de convergência se apresentaram como um dos principais fatores de influência sobre a umidade e, por consequência, como responsáveis pela presença de seca na região de estudos, com a consequente escassez hídrica.

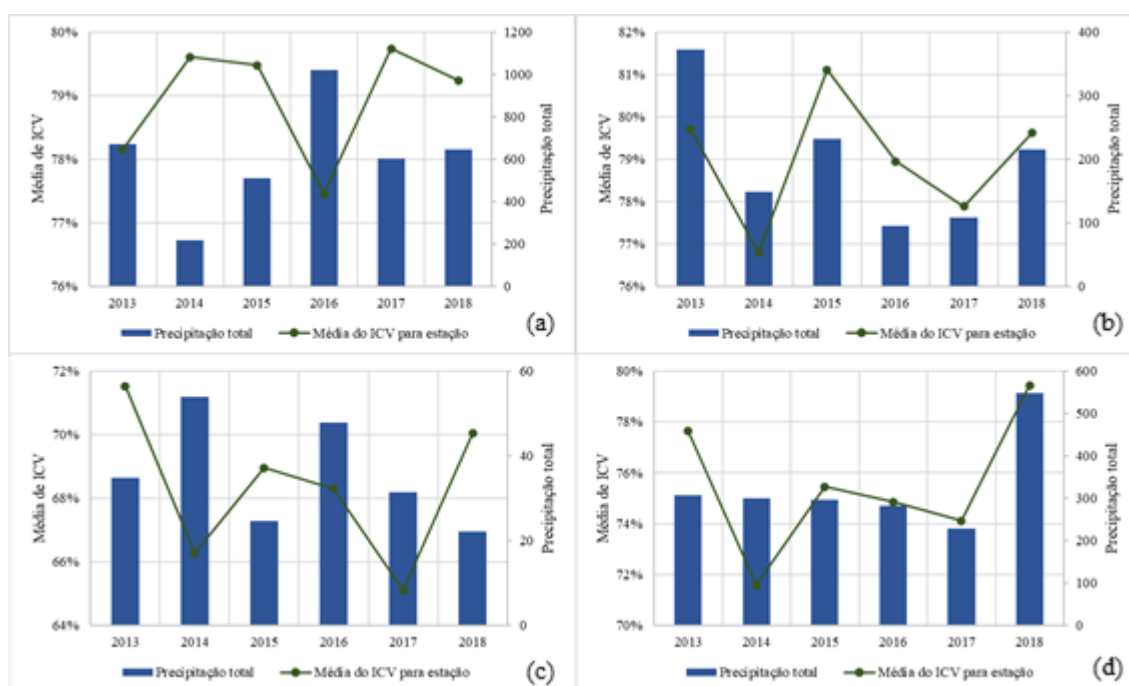
6.3.1.4 Precipitação

Diversos estudos, como o de Liu *et al.* (2016) e Van Hoek *et al.* (2016), demonstraram a relação entre o uso de dados oriundos de índice de vegetação e a precipitação ao longo de uma determinada série temporal. De acordo com os autores, essas informações possibilitam uma detecção da seca, principalmente pelo fato que as regiões com menor quantidade de precipitação são aquelas que normalmente possuem uma menor atividade da vegetação.

Através dessas premissas acima expostas, a análise do Anexo D demonstra que de acordo com INMET (2020), a precipitação pode variar e sofrer influência da sazonalidade e ações de zonas de convergência. Nos meses chuvosos, a precipitação tende a apresentar altos valores ao longo de todo território nacional e, durante o período seco, o Brasil apresentou baixos valores de precipitação.

Ao longo da série temporal analisada, foi possível identificar que entre os anos de 2014 e 2016 a região de estudo apresentou uma diminuição no regime de chuvas nas estações de seca e durante o período da primavera. Somente na estação do verão é que a precipitação apresentou um crescimento ao longo desse intervalo de tempo. A relação entre ICV médio de cada estação com a variação média da precipitação, demonstrada pela Figura 31, permite identificar que no verão a precipitação variou entre 215 a 1020 mm, ao longo de uma média de 77 a 80% de ICV médio. No outono, os dados climáticos variaram entre 95 a 373 mm, ao longo de uma variação média de ICV entre 77 a 81%. No inverno, houve uma redução da faixa de umidade e de ICV, respectivamente entre 22 a 54 mm e entre 65 a 72%, ou seja, variando em uma faixa de seca moderada e seca suave. Na primavera, a faixa apresentada foi de 228 a 549 mm e o ICV entre 72 a 79%.

Figura 31 - Variação do ICV médio e da precipitação total (mm) para cada estação do ano, onde (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera



O Anexo C demonstra que em fevereiro de 2013 ocorreu um aumento da precipitação na região Sudeste. Em novembro do mesmo ano, a umidade proporcionou o aparecimento do período chuvoso na região Sudeste, porém não houve o aparecimento da ZCAS e a intensificação das precipitações. Diferentemente de 2013, a região Sudeste apresentou em janeiro de 2014 problemas de inundação oriundo da atuação das ZCAS e aumento da ocorrência de chuvas. Entretanto, a atuação das ZCAS, em fevereiro e março de 2014, não ocorreram de forma bem configurada e a atuação das chuvas não foram suficientes para garantir o nível de abastecimento da maioria dos reservatórios de água da região Sudeste, ocasionando uma baixa

do volume hídrico e uma escassez das chuvas. Em 2015, a ausência de ZCAS causou um déficit pluviométrico em grande parte do Brasil e uma entrada tardia das estações chuvosas causando o aumento das temperaturas e o agravamento da seca em diversas áreas da região Sudeste. A ZCOU proporcionou a presença de episódios bem configurados de ZCAS e o consequente aparecimento de chuvas no período de dezembro de 2016 e em julho de 2017.

Em Minas Gerais, a atuação das Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) influenciam no regime de chuvas da região e do aumento da precipitação (JARDIM; MOURA, 2018). De acordo com Lima e Cupolillo (2018) e Antunes e Cupolillo (2018), identificam que o ZCAS são os responsáveis pelo fenômeno de chuvas intensas em Minas Gerais, sendo importante para o regime hídrico das bacias hidrográficas.

Na Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, localizada nas proximidades da região de estudo, trabalhos como o de Silva, Escoba e Reboita (2020) demonstram como as ZCAS influenciam no extremo e na ausência de precipitação nessa região, principalmente em casos relativos a anomalias de precipitação. Através de análises de dados das estações meteorológicas, como o realizado no presente estudo, é possível verificar a influência dessas variáveis atmosféricas em eventos de seca/estiagem nessas regiões.

Em relação à área de estudos, as análises realizadas não demonstram a influência da precipitação na expansão das áreas de seca severa e extrema na região, conforme mostrado pelas Figura 32 e Figura 33. Na primavera, os valores de precipitação caíram ao longo do tempo, sofrendo um aumento no ano de 2018. No verão, as precipitações aumentaram entre os anos de 2014 e 2016 e uma queda no ano de 2017. As estações de seca, sofreram grande variabilidade ao longo do período estudado, não sendo possível identificar um aumento ou diminuição da quantidade de chuva na região.

Figura 32 - Extensão de seca severa para cada estação com os acúmulos de precipitação, onde (a)Verão, (b) Outono, (c) Inverno, (d) Primavera

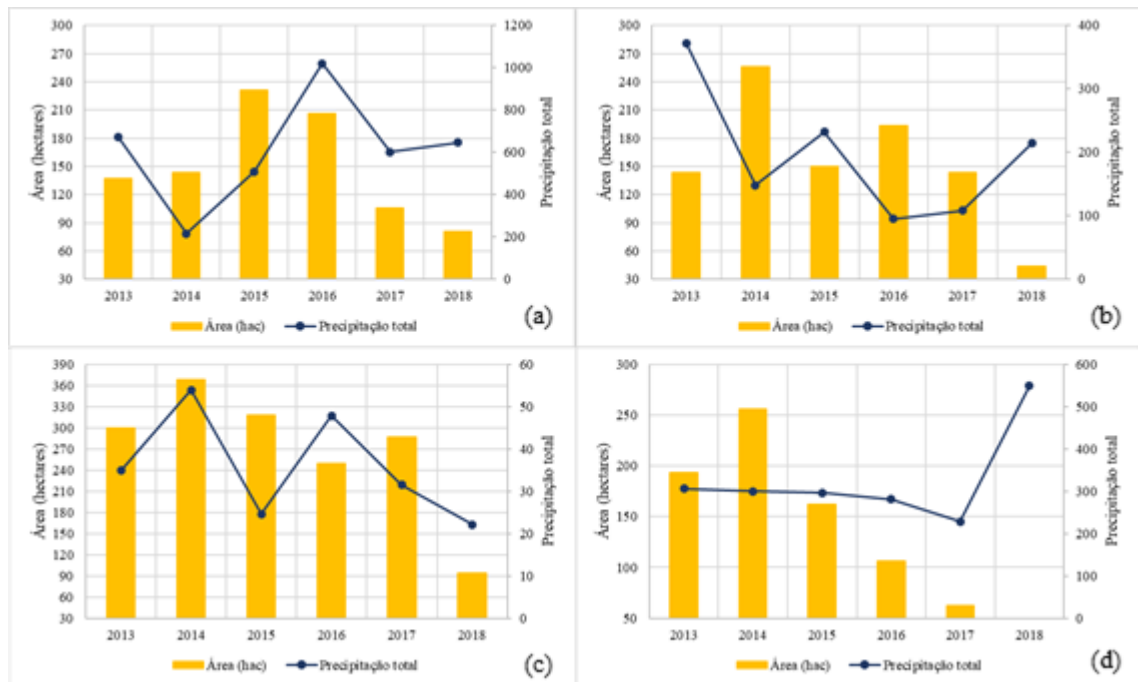
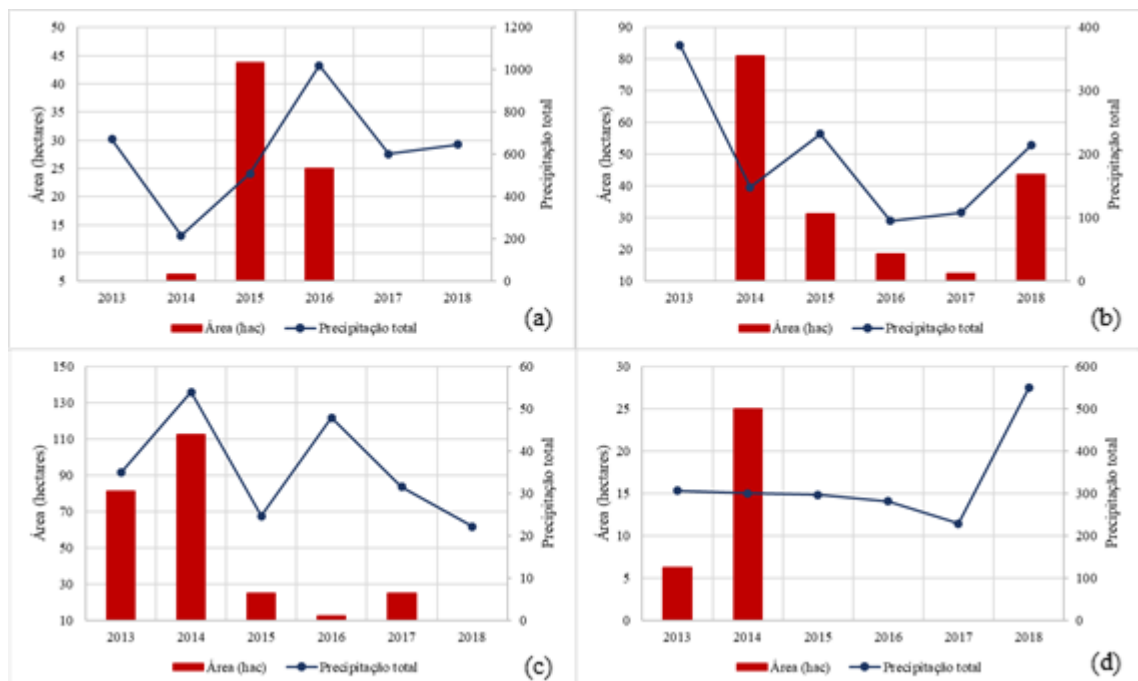


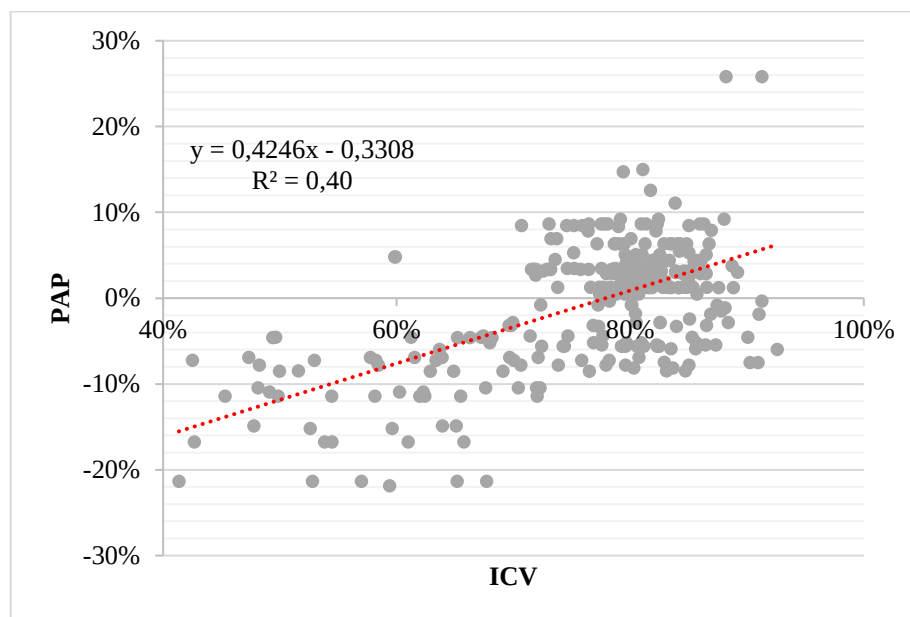
Figura 33 - Extensão de seca extrema para cada estação com os acúmulos de precipitação, onde (a)Verão, (b) Outono, (c) Inverno, (d) Primavera



A Figura 34 mostra o resultado do modelo de regressão estabelecido entre os dados de ICV e PAP da série temporal analisada. O modelo permitiu verificar que a anomalia de precipitação tem uma influência fraca positiva, de 0.40, na delimitação da seca na sub-bacia do Ribeirão Serra Azul. Verificou-se uma dispersão entre os dados de PAP e de ICV que

possibilitaram na obtenção do R^2 de 0,40. Isso permite evidenciar que o cruzamento dos dados não tende a encontrar a tendência apresentada pela equação da reta. Dessa forma, os dados não podem ser utilizados individualmente, sendo necessário o uso de outras informações para verificação da relação entre precipitação e ICV.

Figura 34 - Gráfico das relações entre o ICV e o PAP para todo tempo de estudo analisado de acordo com a localização de cada estação pluviométrica e meteorológica presente na região



Entretanto, de acordo com Zhang, Mu e Huang (2016) em seus estudos sobre seca, a relação apresentada entre os índices de seca e as anomalias de precipitação permite verificar que o valor de 0.4 demonstra uma boa capacidade do uso da variável precipitação para o monitoramento de secas anuais. Segundo Mu *et al.* (2013), Mu, Zhao e Running (2011, 2013) e Phillips *et al.* (2009), em razão das incertezas substanciais presentes no uso de dados de precipitação oriundos das estações meteorológicas e do projeto TRMM, é recorrente a ocorrência de distorções estatísticas, sobretudo em razão da resolução espacial empregada. Assim, o cálculo das anomalias de precipitação, por meio da análise de regressão, auxilia na diminuição dessas distorções, além de auxiliarem no entendimento da influência da precipitação nos fenômenos climáticos.

Assim, os estudos sobre precipitação e suas anomalias são de grande importância para o monitoramento de episódios de seca em bacias hidrográficas. De acordo com Carpenedo (2016), essas análises proporcionam estudos diagnósticos e prognósticos, bem como a elaboração de custos socioeconômicos e para a aplicação de políticas públicas voltadas à mitigação dos impactos desses eventos nessas regiões.

6.3.2 Seca Hidrológica

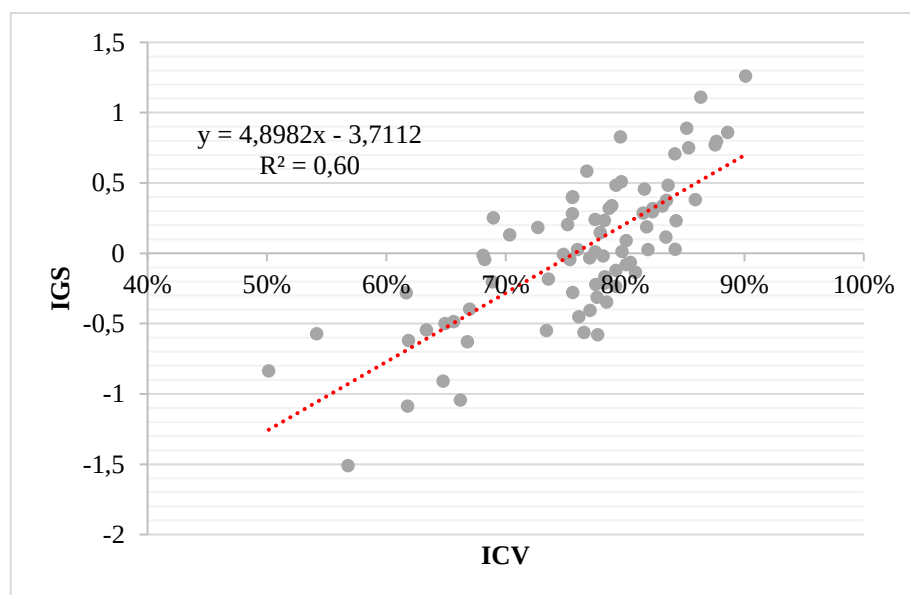
O ICV demonstrou ser um método eficaz para o monitoramento de seca hidrológica, principalmente quando comparado com metodologias já utilizadas para essa temática. Isso permitiu avaliar a dimensão dos eventos de seca na região de estudo, ao longo do período analisado. Os resultados encontrados são corroborados por estudos tais como o de Zhang e Yamaguchi (2014), e Tran *et al.* (2019). Esses estudos demonstram que diferentes metodologias para a caracterização da seca podem ser utilizadas para o monitoramento do evento e seus casos extremos, principalmente quando associados ao uso de índices de resposta espectral da vegetação.

6.3.2.1 Índice de Gravidade da Seca (IGS)

O IGS possibilita a quantificação da umidade ao longo de uma região, estando associado principalmente a sua variação de precipitação. Dessa forma, é possível analisar a variação da seca, principalmente ao associá-la ao crescimento vegetativo de culturas, além de identificar a umidade do solo em uma determinada região (ZHANG, JIE; MU; HUANG, 2016). De acordo com Chandrasekar *et al.* (2017), pelo fato do IGS ser derivado de dados de evapotranspiração e NDVI, é possível identificar como a vegetação responde à disponibilidade hídrica de uma região. Segundo os autores, quando o IGS apresenta valores negativos, o ambiente tende a apresentar condições de seca maiores que o normal, caracterizando um quadro extremo do fenômeno.

Para o presente trabalho, foi possível identificar que, ao longo da variação da seca na área de estudo, a gravidade do evento também sofreu variação, conforme demonstrado pelo resultado do IGS no Apêndice H. De acordo com os resultados encontrados (Figura 35), o modelo de regressão estabelecido entre os dados de ICV e IGS da série temporal analisada permitiu verificar que o índice de gravidade de seca tem uma influência moderada positiva, correspondendo a 0,60, na delimitação do fenômeno na sub-bacia do Ribeirão Serra Azul. Verificou-se a ausência de dispersão entre os dados de IGS e de ICV, possibilitando na obtenção do R^2 de 0,60. Isso permite evidenciar que o cruzamento dos dados apresenta a capacidade de encontrar a tendência apresentada pela equação da reta permitindo inferir que quando os valores de ICV aumentam, os valores de IGS apresentam relação correlata.

Figura 35 - Gráfico das relações entre o ICV e o IGS para todo tempo de estudo analisado de acordo com a localização de cada estação pluviométrica e meteorológica presente na região



Por meio das discussões apresentadas por Cunha *et al.* (2019), a comparação entre os resultados de ICV e IGS permitiram identificar a eficiência da metodologia para delimitação da seca hidrológica em uma região de estudo. Os resultados corroboram a análise de regressão encontrada na Figura 35, que permitiram identificar que a relação entre as variáveis é moderadamente positiva ao longo da região de estudo.

Assim como discutido por Zhang; Mu e Huang (2016), os resultados encontrados nas Figura 36 e Figura 37 corroboram com a ideia de que a variação da resposta espectral da vegetação auxilia na delimitação da gravidade de seca, principalmente quando associado a questões relativas às mudanças da vegetação. A Figura 36 demonstra a variação da gravidade da seca ao longo da série temporal, sendo possível identificar a influência da sazonalidade na área de estudo. Os histogramas resultantes da análise de variação do índice de gravidade da seca permitiram identificar que os rasters de IGS (Apêndice H), apresentaram diferentes classificações ao longo da área de estudo. Através da Figura 37, a eficácia do uso do ICV para o mapeamento da abrangência de seca hidrológica em uma bacia hidrográfica pode ser verificado uma vez que foi possível identificar que a medida que o fenômeno de seca se agrava os valores de IGS tendem a diminuir. Os resultados demonstraram que o comportamento do IGS ao longo das diferentes classes demonstrou um comportamento contínuo da sazonalidade ao longo da região de estudo.

No geral, os valores de IGS variaram entre os intervalos de -4 a 4 e apresentaram diferentes variações ao longo das estações do ano e uma concentração de variação dos pixels entre os intervalos de -2 a 2. Como visto na Figura 36, os valores 0 e 1 se concentraram com maior frequência nas estações chuvosas, representadas pelo verão e primavera, enquanto que para as estações de seca (inverno e outono), o índice apresenta uma diminuição da concentração de variação de pixels, estando concentrado principalmente no intervalo entre -1 e 1. Isso permite evidenciar que, à medida que as chuvas diminuem na região de estudo, a quantidade de umidade no solo diminui, causando uma diminuição dos valores dos índices de delimitação de seca.

Em relação à Figura 37 é possível concluir que para as classes de seca houve uma diminuição média do IGS, quando observado para as estações de primavera e verão, em razão do aumento da evapotranspiração, em decorrência da elevação das temperaturas. Além disso, foi possível identificar que o fenômeno se agrava com o aparecimento das classes de seca extrema e severa, principalmente no período de transição das estações de primavera e verão na série temporal analisada.

A plotagem dos dados médios do IGS ao longo das áreas das classes de ICV permitiram validar a relação apresentada pela análise de regressão entre os dados. Isso se deve ao fato dos valores de IGS ao longo das classes apresentarem uma tendência sazonal e que quando as classes de seca do ICV se tornam mais intensas, o IGS tende a apresentar valores mais negativos, caracterizando no agravamento do fenômeno na região de estudo.

Do mesmo que o demonstrado pela literatura acerca do tema, os resultados encontrados vão ao encontro de estudos como os de Gebeyehu *et al.* (2019), Chandrasekar *et al.* (2017) e Zhang, Mu e Huang (2016), que demonstraram que, à medida que o valor de IGS diminui, maior a abrangência da seca em uma região. Em contrapartida, à medida que esses valores aumentam, maior a quantidade de umidade do solo da região, resultando na diminuição de eventos de seca hidrológica.

Figura 36 - Variação do histograma das análises de gravidade da seca por meio da aplicação do IGS

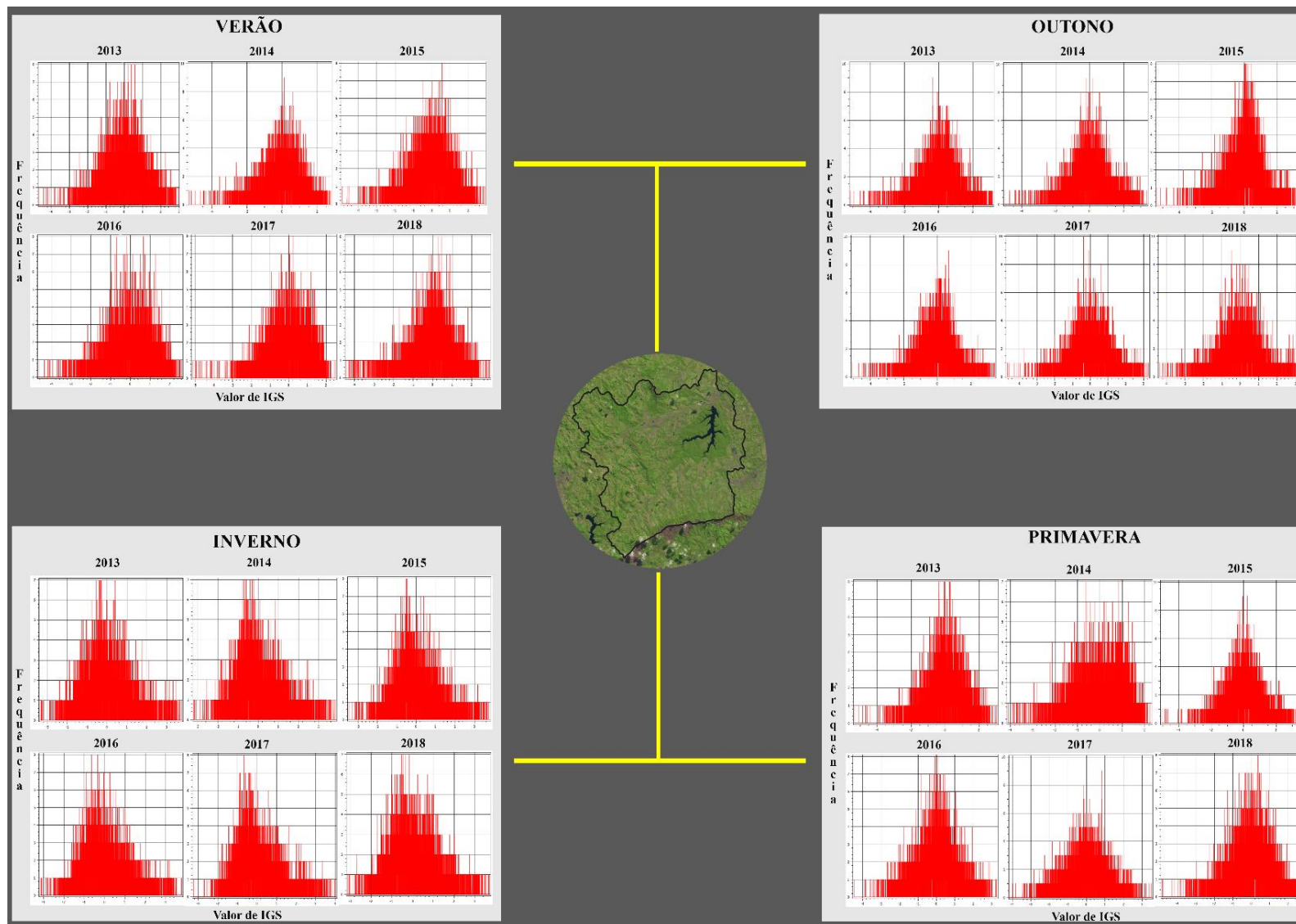
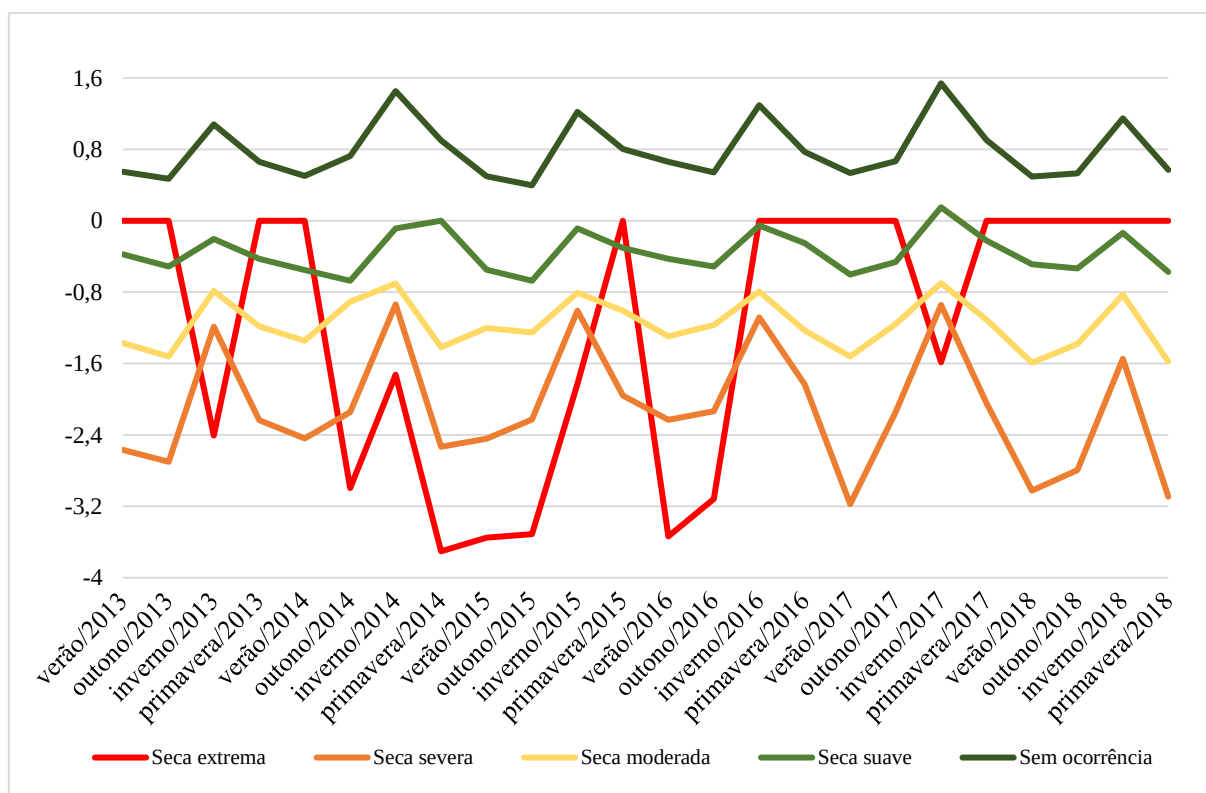


Figura 37 - Valores médio de IGS ao longo das estações do ano da série temporal analisada ao longo da área de abrangência das classes de ICV na sub-bacia do ribeirão Serra Azul



Estudos como o apresentado por Natividade; Garcia e Torres (2017) demonstram que para o estado de Minas Gerais fatores externos associados principalmente a questões meteorológicas, como precipitação e temperatura, podem auxiliar na resposta espectral da vegetação em relação ao evento de seca e escassez hídrica. Essa relação está evidenciada pela Figura 37, em que foi possível identificar que, para o ano de 2015, foram observados os valores mais baixos para toda as classes de ICV. Esses valores corroboram a situação de escassez hídrica decretada pelo Governo do Estado de Minas Gerais (2015) para a área de estudo naquele mesmo ano. Isso permite avaliar a eficácia da correlação dos dois índices para o monitoramento da seca hidrológica na sub-bacia.

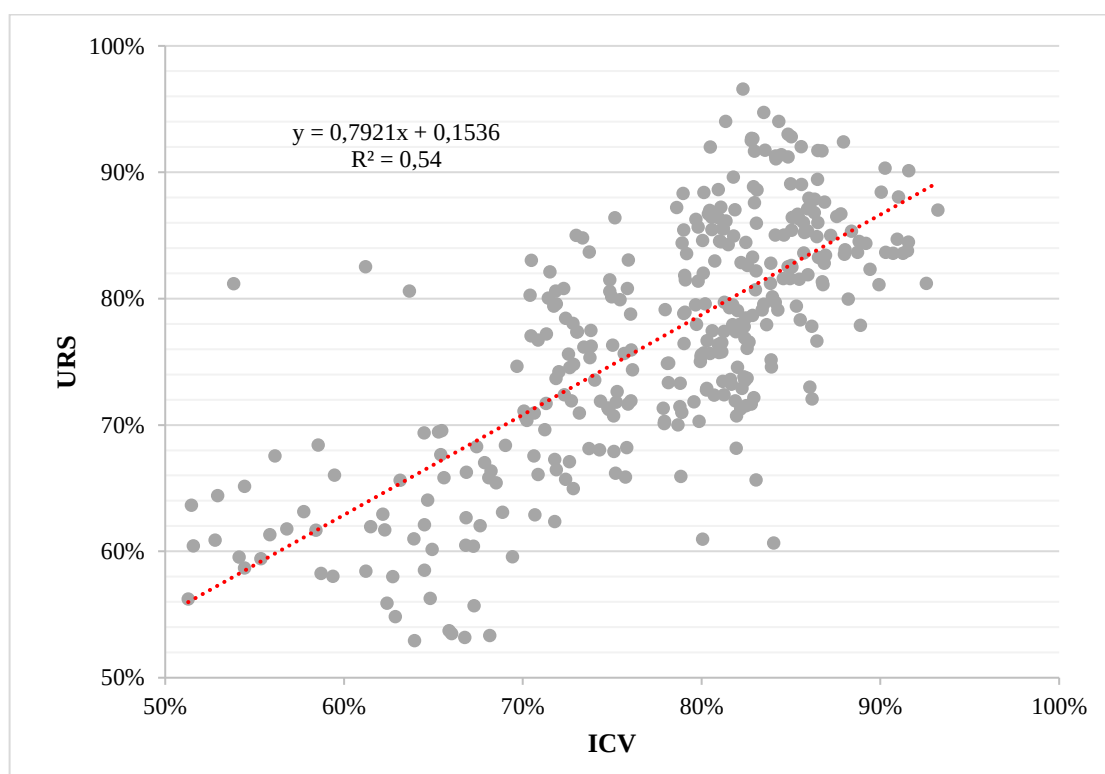
6.3.2.2 Umidade Relativa do Solo (URS)

A umidade do solo para análises de tipologia de seca, tal como a hídrica, é de grande importância, pois permite identificar períodos neutros, ou seja, sem grandes variações de água na superfície, além de períodos extremos, como identificado no ano de 2015 pelos estudos. Na literatura, trabalhos como o de Rossato *et al.* (2017), identificaram a gravidade do evento de seca por meio da análise de umidade no solo para algumas regiões brasileiras. Segundo o autor,

o território brasileiro sofreu com eventos extremos de seca, principalmente no ano de 2015, causando uma diminuição da umidade do solo nas superfícies.

Foi possível identificar no presente estudo que, ao longo da alteração da seca, a umidade do solo também sofreu variação, conforme demonstrado pelo resultado do URS. De acordo com os resultados encontrados (Figura 38), o modelo de regressão estabelecido entre os dados de ICV e URS da série temporal analisada permitiu verificar que o índice de gravidade de seca tem uma influência moderadamente positiva na delimitação da seca na sub-bacia do Ribeirão Serra Azul, correspondendo a 0.54. Verificou-se uma dispersão entre os dados de URS e de ICV que possibilitaram na obtenção do R^2 de 0,54. Isso permite evidenciar que o cruzamento dos dados não tende a encontrar a tendência apresentada pela equação da reta. Dessa forma, os dados não podem ser utilizados individualmente, sendo necessário o uso de outras informações para verificação da relação entre umidade relativa do solo e ICV.

Figura 38 - Gráfico das relações entre o ICV e o URS para todo tempo de estudo analisado de acordo com a localização de cada estação pluviométrica e meteorológica presente na região



A Figura 39 demonstra a variação da umidade do solo ao longo da série temporal dos estudos, sendo possível identificar a influência da sazonalidade nessa área. Os histogramas resultantes da análise de variação do índice permitiram identificar que os rasters de URS apresentaram diferentes valores ao longo da área de estudo. No geral, os valores de URS variaram entre os intervalos de 0.5 a 1 e apresentaram diferentes variações ao longo das estações

do ano e uma concentração de variação dos pixels entre os intervalos de 0.6 a 0.8. Isso permite identificar que no geral a região tende a apresentar uma boa proporção de umidade ao longo da sua superfície. De acordo com Zhan, Qin e Wang (2004), quando o valor do índice chegar mais próximo de um, maior a umidade apresentada pelo solo.

Nas estações chuvosas, os valores de URS se concentraram com maior frequência entre os intervalos de 0.7 a 0.8. O ano de 2015 foi aquele que se diferenciou dos dados apresentados, pois a frequência dos pixels se concentrou na faixa de 0.4 a 0.5, contribuindo para a identificação da situação de escassez hídrica decretada naquele ano, para a área de estudo. Isso permite avaliar que a umidade do solo da região estava bastante defasada, o que pode ter contribuído para a ocorrência do evento na área de estudo. Nas estações de seca, correspondente ao inverno e outono, o índice apresenta uma diminuição da concentração de variação de pixels, estando concentrado principalmente no intervalo entre 0.6 e 0.7. Isso permite verificar que à medida que as chuvas diminuem na região de estudo, a quantidade de umidade no solo diminui, causando uma diminuição dos valores dos índices.

A Figura 40 demonstra a variação da umidade do solo ao longo das classes de ICV da região de estudo e a influência da sazonalidade. Foi possível identificar que, apesar da intensificação da seca registrada pelo ICV, grande parte da região de estudo possuiu uma grande porcentagem de umidade do solo, variando entre 0.6 e 0.8. Além disso, as estações de seca apresentaram maior umidade se comparadas com as estações chuvosas. Isso pode ser explicado pelo fato de as chuvas ocorridas no verão e primavera serem armazenadas no solo e utilizadas no período de seca para manutenção dos ciclos biológicos, conforme demonstrado em análises de seca como o de Zhang *et al.* (2019).

A plotagem dos dados médios do URS ao longo das áreas das classes de ICV permitiram validar a relação apresentada pela análise de regressão entre os dados. Isso se deve ao fato dos valores de URS ao longo das classes não apresentarem uma tendência sazonal e que quando as classes de seca do ICV se tornam mais intensas, o URS apresenta, em algumas estações, um armazenamento de água maior do que o esperado para classe de seca.

Figura 39 - Variação do histograma das análises de gravidade da seca por meio da aplicação do IUS

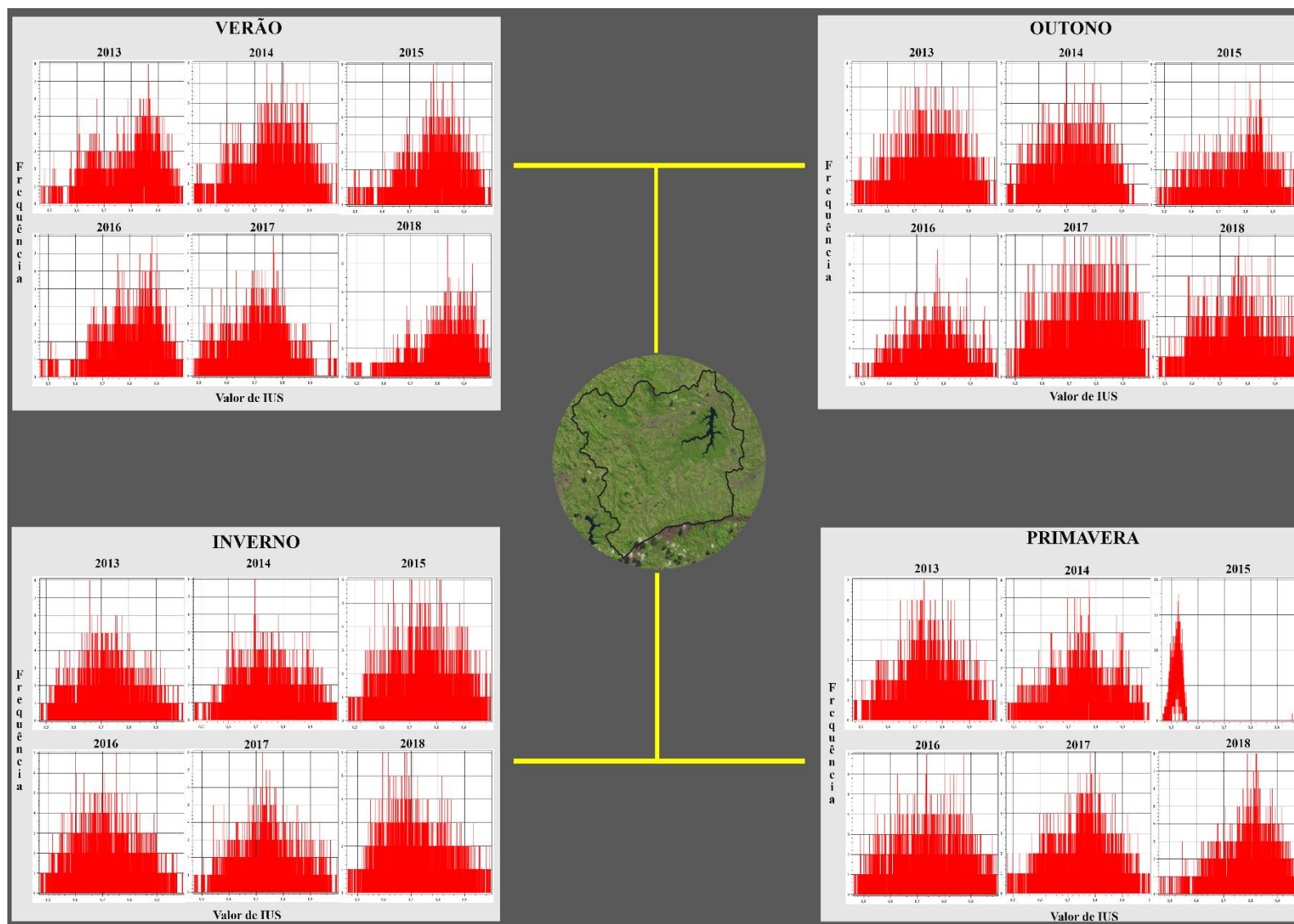
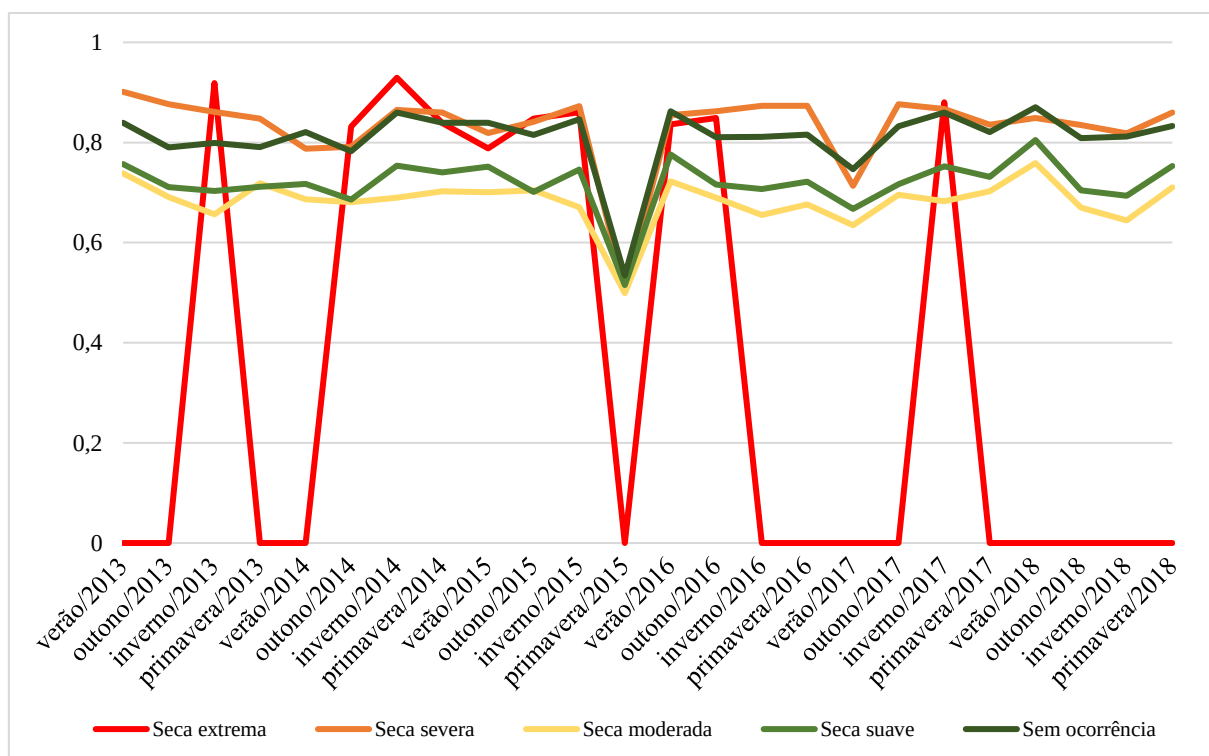


Figura 40 - Valores médio de URS ao longo das estações do ano da série temporal analisada ao longo da área de abrangência das classes de ICV na sub-bacia do ribeirão Serra Azul



Ao longo de toda série temporal analisada, foi possível verificar que, entre os anos de 2014 a 2015, a umidade do solo diminuiu culminando, na primavera de 2015, em seu menor valor registrado, coincidindo com o episódio de escassez hídrica registrado para região de estudo. Os resultados apresentados permitiram afirmar que, assim como os estudos na região nordeste apresentados por Inocêncio, Neto e Souza (2020), para áreas de estudo localizados na Região Sudeste, também é possível identificar os efeitos da seca hídrica por meio de análises de umidade do solo.

Assim com os estudos apresentados por Eyoh; Okeke e Ekpa (2019) e Jiao *et al.*, (2016), o ICV observado demonstrou capacidade de identificar a variação de umidade ao longo das diferentes classes de seca. Além disso, os dados de umidade do solo permitiram verificar questões de estresse hídrico ao longo da região de estudo, principalmente para o ano de 2015, onde a região apresentou escassez hídrica na bacia. De acordo com Eyoh; Okeke e Ekpa (2019), índices oriundos de técnicas de sensoriamento remoto têm se mostrado eficaz para esse tipo de análise. Dessa forma, essas ferramentas podem servir como subsídio para criação e planejamento de ações de monitoramento de bacias hidrográficas.

6.3.3 Seca Agrícola e Socioambiental

O estudo da seca agrícola e socioambiental são de grande importância quando se entende que, mais do que as anteriores, essas são mais facilmente perceptíveis pelas populações. A seca agrícola está diretamente relacionada com o desenvolvimento da vegetação e, por conseguinte, o impacto econômico que essa seca terá sobre a produção agrícola e o desenvolvimento humano e social em uma determinada região. Do mesmo modo, a seca socioambiental está associada à impactos diretos às populações, podendo ocasionar a escassez de serviços ambientais, tais como o abastecimento hídrico, acarretando consequências diretas para a saúde, trabalho e sobrevivência dessas populações. Contudo, ainda que se reconheça a importância de tal tema, há uma dificuldade no levantamento de dados referentes ao tratamento do assunto por sistemas de georreferenciamento. Isso se deve ao fato de os conjuntos espaciais não estarem associados às produções econômicas por estabelecimento e sim por unidade política da federação. Tal abordagem dificulta a associação de impactos relativos à perdas econômicas no âmbito agrícola, além e impactos sociais na população que convive com as consequências dos fenômenos de seca.

6.3.3.1 Análise da seca agrícola por meio da produção de biomassa nos imóveis rurais da região de estudo

Araújo, Moreira e Neves (2020), demonstra que a relação de biomassa entre as diferentes tipologias de uso do solo está relacionada principalmente as questões de perdas naturais, devido ao processo de antropização de florestas naturais. Segundo o autor, a biomassa tende a se tornar menor ao longo da urbanização das áreas naturais, sendo essa relação corroborada por Sanquetta *et al.* (2018).

Os resultados encontrados pelo presente trabalho permitiram identificar que as áreas agrícolas não possuem uma relação forte com os dados de ICV. Tal fato pode ter relação com o ciclo do carbono nesse tipo de região. De acordo com Coutinho *et al.* (2017), a relação de armazenamento de carbono por meio da biomassa pelas áreas agrícolas e de pastagem se diferem bastante pelo fato dos cultivos agrícolas reduzirem os teores de carbono do solo, se comparado com os pastos. Em contrapartida, pelo fato das pastagens se encontrarem, em sua maioria, próximas às áreas florestais, é comum a presença de grande quantidade de carbono no solo próximo a essas regiões. Assim, pode ser possível verificar que nas análises com sensores remotos, as regiões de pastagem possam apresentar uma maior relação com o ICV, se comparado com as áreas agrícolas. Esse fato se atribui à possibilidade dessas áreas se encontrarem mais próximas às áreas de florestas e de vegetação campestre. Entretanto, para a comprovação

dessas afirmações, é necessária uma análise de campo para teores de carbono em árvores, com o uso de equações alométricas, como o demonstrado nos estudos de estimativa de carbono em áreas antropizadas, realizados por Brianezi *et al.* (2013).

Os imóveis rurais presentes na sub-bacia do Ribeirão Serra Azul (Figura 41 e Figura 42) apresentam-se constituídos, em sua grande maioria, por áreas de pastagens, formação florestal e áreas agrícolas. As áreas construídas dentro dos imóveis rurais permaneceram estáveis ao longo de toda série temporal, bem como as regiões denominadas campestres. Os resultados demonstram que as regiões de cultivos agrícolas foram aquelas que apresentaram maiores valores de biomassa, variando entre 224.768 e 246.884 ton/ha. Nesta classe, o ano de 2014 foi aquele que apresentou os menores valores (224.768), enquanto que o ano de 2016 foi o que demonstrou o maior valor (246.884). As regiões de pastagens apresentaram o mesmo comportamento que aquelas destinadas à agricultura, apresentando em 2014 o valor de 213.391 e em 2016 o valor de 227.989. As florestas apresentaram a maior quantidade de biomassa no ano de 2013 e o menor valor da série temporal no ano seguinte, de 214.174 ton/ha. Os resultados permitiram inferir que, dentro dos imóveis rurais, quanto maior a antropização da área, menor a quantidade média de biomassa apresentada pela região. Tal afirmação pode ser corroborada por estudos como os de Araújo, Moreira e Neves (2020) e Sanquetta *et al.* (2018), que identificaram que a expansão das atividades antrópicas causam uma diminuição da produção de biomassa.

A Figura 43 mostra que o modelo de regressão estabelecido entre os dados médios anuais de ICV e biomassa da série temporal analisada permitiu verificar, de forma geral, que ambos apresentam entre si uma influência moderada positiva, correspondendo a 0.63, nas regiões rurais. Esse demonstra que, ao longo da alteração da seca na área de estudos, a biomassa apresentou variações em todos os imóveis rurais analisados. A relação entre essas variáveis pode ser observada de uma melhor forma ao se analisar as classes presentes nos imóveis rurais (Figura 44). Foi possível verificar que a biomassa apresentou uma melhor relação em áreas naturais, como floresta e vegetação campestre, apresentando respectivamente uma relação moderadamente forte positiva (0.64) e forte positiva (0.97). Em comparação, para áreas antropizadas, como a agricultura e a pastagem, a relação encontrada foi fraca positiva (0.31) e moderadamente forte positiva (0.55). Neste aspecto, identificou-se que a pastagem apresenta uma maior influência nos eventos de seca, se comparado com as regiões de produção agrícola.

Figura 41 - Variação do uso do solo ao longo da série temporal analisada e as respectivas variações médias de biomassa nos imóveis rurais

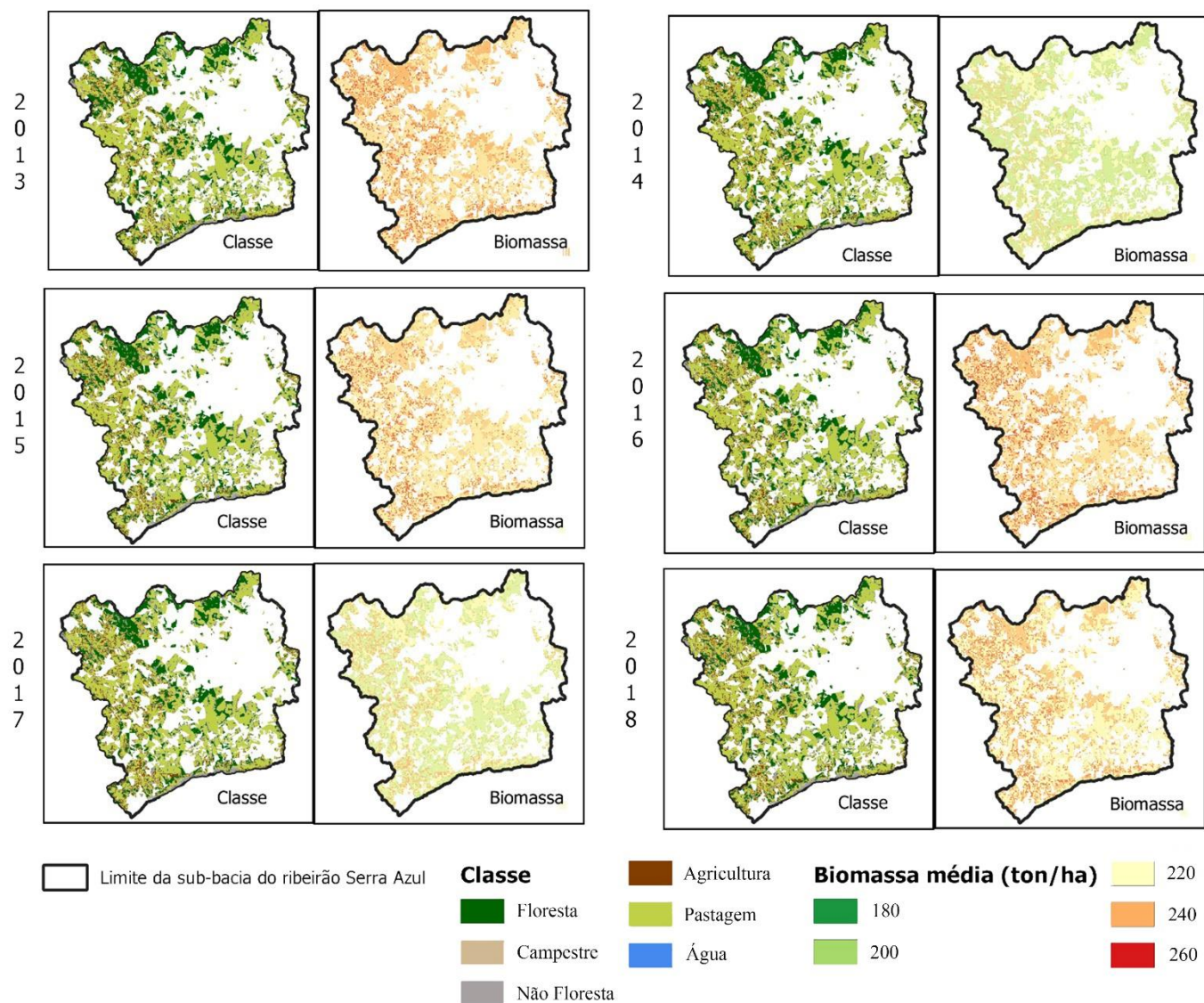


Figura 42 - Variação do uso do solo e valores médios de biomassa ao longo da série temporal analisada nas áreas de abrangência dos imóveis rurais na sub-bacia do ribeirão Serra Azul

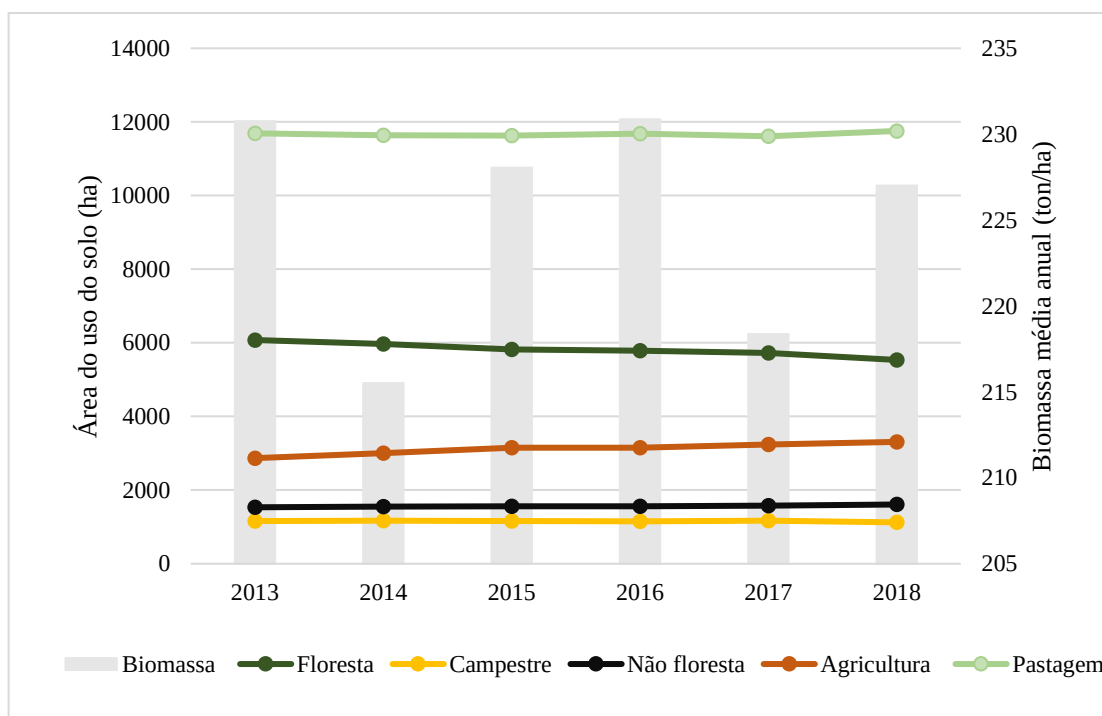


Figura 43 - Gráfico das relações entre o ICV e a biomassa anual para todo tempo de estudo ao longo de todos os imóveis rurais presentes na região de estudo

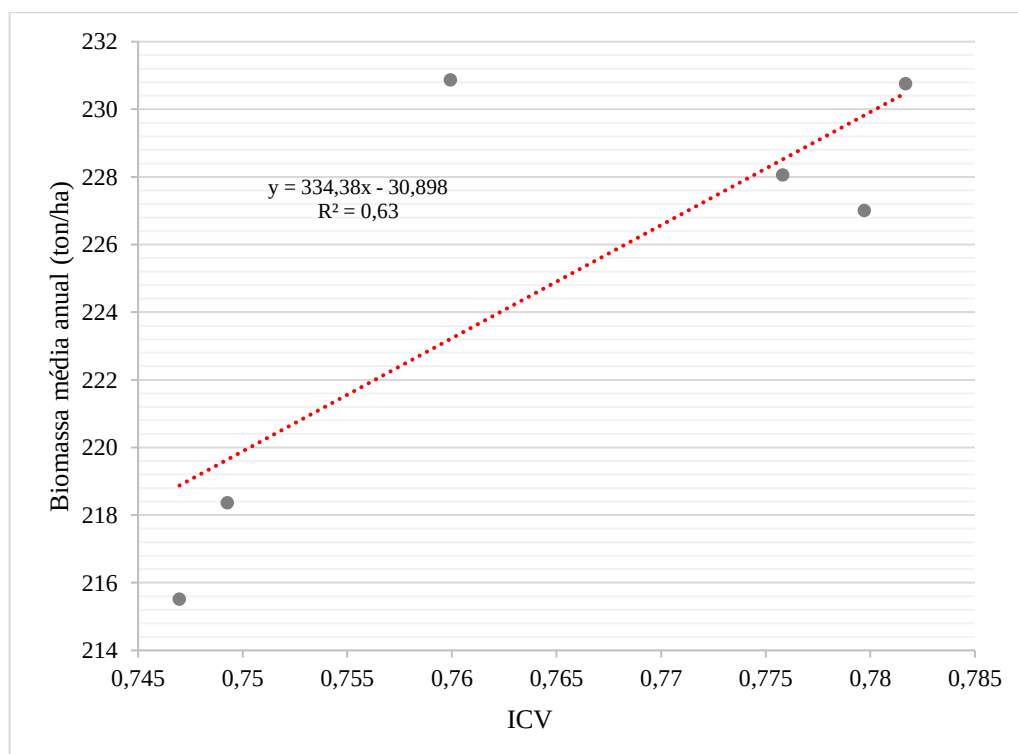
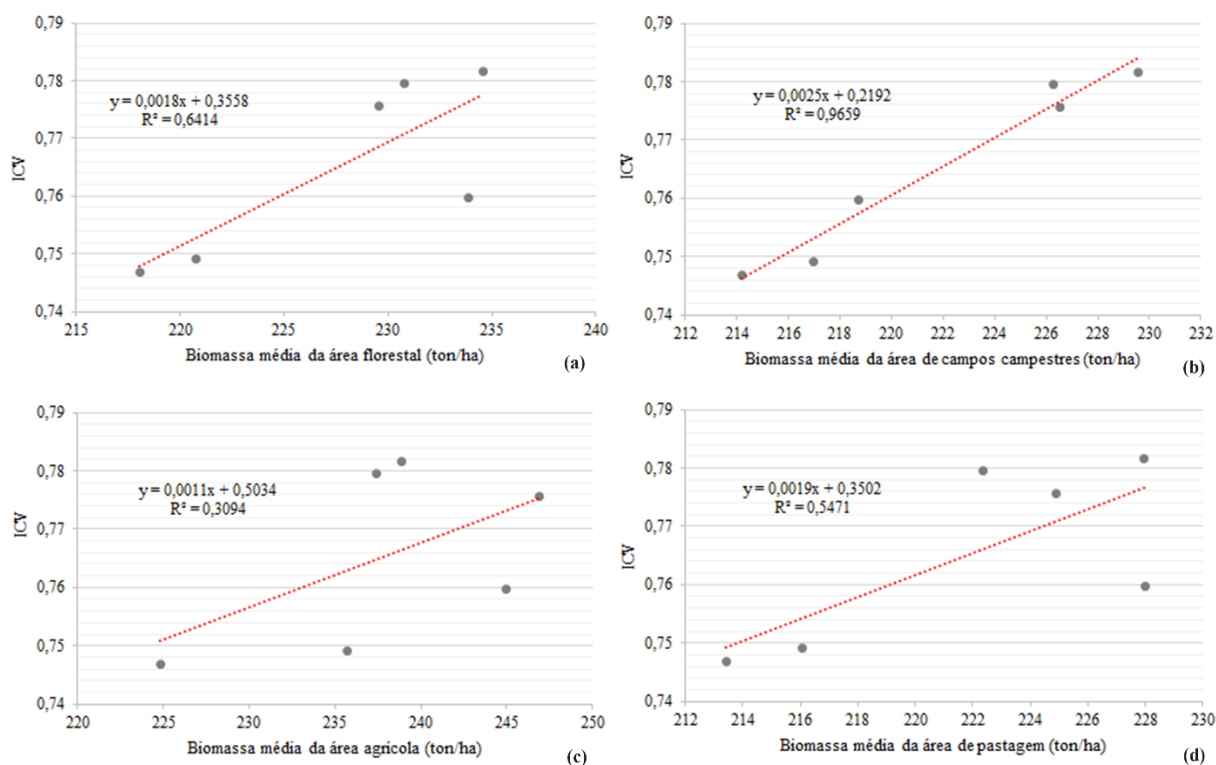


Figura 44 - Gráfico das relações entre o ICV e a variação da biomassa para todo tempo de estudo ao longo de todas as classes presentes nos imóveis rurais da região de estudo, onde (a) classe floresta, (b) campos campestres, (c) agricultura e (d) pastagens



Verificou-se que quando maior o valor do R^2 , melhor o ajuste apresentado pelas classes de uso do solo. A ausência de dispersão entre os dados de biomassa e área de vegetação florestal e campestre, possibilitando na obtenção dos valores de R^2 de 0,64 e de 0,96. Isso permite evidenciar que o cruzamento dos dados apresenta a capacidade de encontrar a tendência apresentada pela equação da reta permitindo inferir que quando maior a área de vegetação, maior o armazenamento de biomassa. Relação contrária pode ser visto entre os dados de área agrícola de pastagem. A dispersão entre os dados possibilitou na obtenção dos valores de R^2 de 0,30 e de 0,54. Isso permite evidenciar que o cruzamento dos dados não apresenta a capacidade de encontrar a tendência apresentada pela equação da reta, dificultando o estabelecimento de uma relação precisa entre a expansão dessas áreas e o armazenamento de biomassa.

Uma vez realizado o cálculo da biomassa o conjunto dos imóveis rurais, procedeu-se à análise por área das classes de ICV. Em toda área de estudos (Tabela 18), os imóveis rurais presentes na sub-bacia apresentaram uma grande quantidade de áreas com seca suave e sem ocorrência de seca. Também, ao longo da variação sazonal foi possível identificar a variação das diversas tipologias de seca. Do mesmo modo, não houve a presença de seca extrema dentro das áreas rurais na bacia. Identificou-se que, à medida que as classes de seca se agravam,

principalmente a severa e moderada, menor a quantidade de áreas agrícolas e maior a quantidade de pastagens, ocasionando um aumento da quantidade de biomassa na região.

Tabela 18 - Biomassa média anual ao longo de cada área de classificação de seca

Ano	Extrema	Severa	Moderada	Suave	Sem Ocorrência
2013	-	-	193,51	217,85	252,78
2014	-	-	160,76	210,38	237,96
2015	-	-	179,87	220,96	248,15
2016	-	-	186,07	223,41	252,97
2017	-	-	167,91	214,03	234,29
2018	-	-	190,68	215,37	246,46

No contexto de seca agrícola, de acordo com Vaani e Porchelvan (2018), a análise espacial da seca em relação a produção agrícola depende da qualidade dos dados de entrada e principalmente na disponibilidade de imagens com resolução que permitam a delimitação de diferentes cultivos em uma região, o que não foi possível de ser realizado para as análises do presente trabalho. Entretanto, os estudos de biomassa florestal permitiram identificar uma relação de contribuição inicial das áreas rurais na influência nos eventos de seca da região de estudo.

6.3.3.2 Influência do balanço hídrico na produção de biomassa ao longo de toda região de estudo

Como discutido no tópico sobre seca meteorológica, de acordo com o INMET (2020), as massas de ar exercem uma grande influência na incidência de precipitações na bacia, que servem como variável de entrada dentro do balanço hídrico. Dessa forma, isso pode ser visto como um dos fatores que ocasionou a variação do balanço hídrico ao longo da região de estudo, principalmente no ano de 2014, em que houve uma expansão das áreas de seca extrema e severa nessa região, conforme demonstrado pelo ICV.

Na busca por verificar a influência sazonal na série temporal analisada, os resultados do balanço hídrico permitiram identificar que o armazenamento máximo da bacia (Sd) vem diminuindo ao longo do tempo para a região (Figura 45). Em relação ao balanço hídrico, identificou-se que no ano que antecedeu a escassez hídrica da bacia (2015), a região de estudos apresentou o menor volume do balanço. Também foi possível inferir que outros fatores puderam contribuir para o episódio de escassez hídrica, uma vez que, ao sofrer uma queda nos valores do balanço hídrico no ano de 2017 a bacia não sofreu o mesmo tipo de impacto.

Um dos principais fatores que podem ter contribuído para a queda do armazenamento máximo da bacia está associado com as mudanças de uso do solo na região (Tabela 19). O cálculo do armazenamento máximo da bacia é baseado nos valores de CN, que estão relacionados com o uso do solo da área de estudo (TUCCI.; AL, 2012). Dessa forma, é possível verificar que na medida que a região de estudo apresenta perda das áreas florestais, o armazenamento máximo da bacia diminui. Além disso, verificou-se que grande parte das regiões florestais suprimidas deram origem a áreas agropecuárias e de não floresta.

Figura 45 - Variação do balanço hídrico e do armazenamento máximo da bacia ao longo da área de estudo

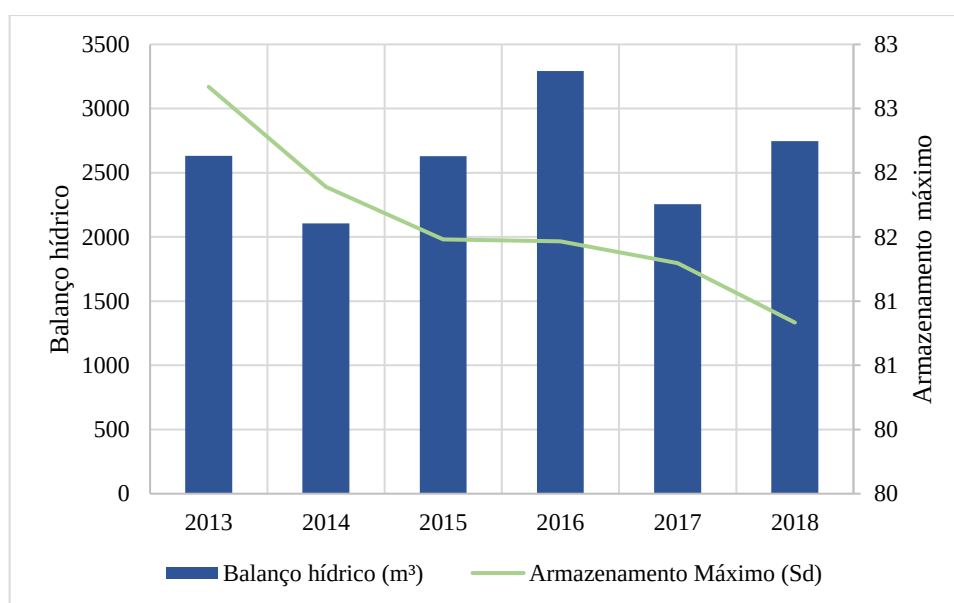


Tabela 19 - Área das seis classes de uso do solo, em hectares, de acordo com a reclassificação dos dados do MAPBIOMAS utilizados para elaboração do uso do solo da região

Ano	Floresta	Campestre	Pastagem	Agricultura	Não Floresta	Água
2013	13537,82	2168,05	18891,50	5278,81	4349,53	555,470
2014	13367,12	2174,44	18765,75	5474,39	4615,51	383,966
2015	13161,06	2153,33	18697,84	5694,45	4714,14	360,368
2016	13029,47	2141,01	18843,83	5708,77	4694,30	363,807
2017	12956,28	2168,53	18726,24	5839,16	4735,41	355,568
2018	12548,87	2071,73	19020,69	5913,79	4838,77	387,325

Dentro das análises por sensoriamento remoto, para região de estudo, trabalhos como o de Neves (2005) e Neves, Versiani e Rodrigues (2007) demonstraram que o uso do solo pode interferir na disponibilidade hídrica da bacia. De acordo com os autores, à medida que as áreas florestais diminuem, menor a vazão total anual da bacia. Isso causa um aumento da evapotranspiração e a alteração em seu balanço hídrico. A implantação do reservatório Serra

Azul na região de estudos, foi essencial para diminuição da taxa de degradação da vegetação da região, uma vez que os autores identificaram uma maior regeneração das florestas nas áreas de proteção da COPASA. Além disso, de acordo com os autores, o principal desafio para identificação das relações de causa e efeito está associado à escassez de dados disponíveis, o que dificulta a relação entre alguns elementos associados ao ciclo hidrológico, como volume e qualidade da água da região.

Verificou-se que a ausência de dispersão entre os dados de biomassa e balanço hídrico possibilitaram na obtenção do valor de R^2 de 0,72. Isso permite evidenciar que o cruzamento dos dados apresenta a capacidade de encontrar a tendência apresentada pela equação da reta permitindo inferir que quando maior a disponibilidade hídrica por meio do volume armazenado pela bacia hidrográfica, maior o armazenamento de biomassa.

A relação entre as áreas florestais e o balanço hídrico pode ser verificada por meio da análise em relação à biomassa florestal presente na região de estudo (Figura 46). Foi possível verificar que a biomassa apresentou uma relação forte positiva (0.72) com o balanço hídrico da região. Além disso, as análises demonstraram uma relação diretamente proporcional entre os dados, uma vez que à medida que os valores do balanço hídrico diminuem na região de estudo, menor a quantidade de biomassa florestal (Figura 47). De acordo com Alves, Martins e Reboita (2020) e Montañó e Souza (2016), a variação no ciclo hidrológico pode prejudicar o uso do solo da região, bem como o cultivo de culturas. Além disso, pode prejudicar no armazenamento de biomassa nas regiões florestais.

Figura 46 - Relação entre o balanço hídrico da sub-bacia e a biomassa florestal produzida na região de estudo ao longo da série temporal analisada

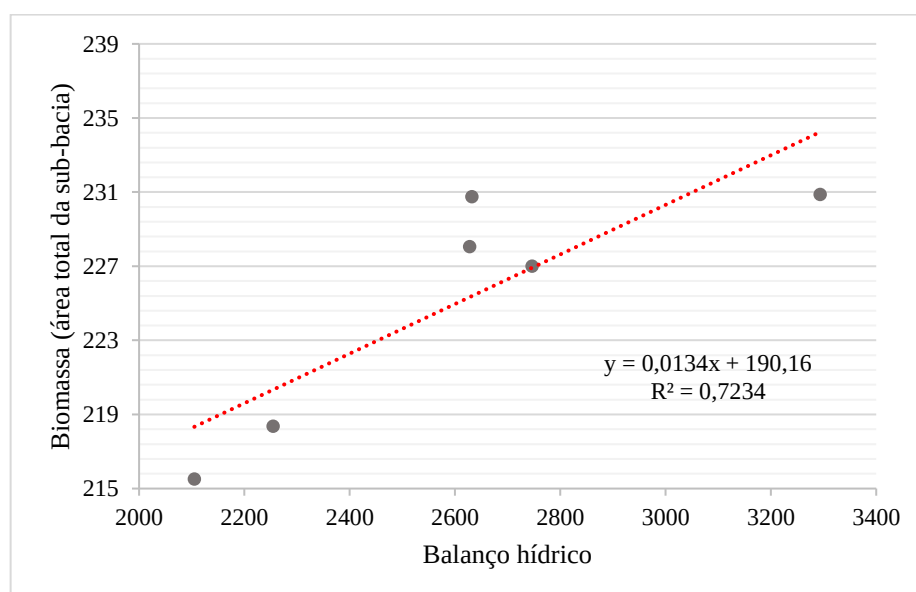
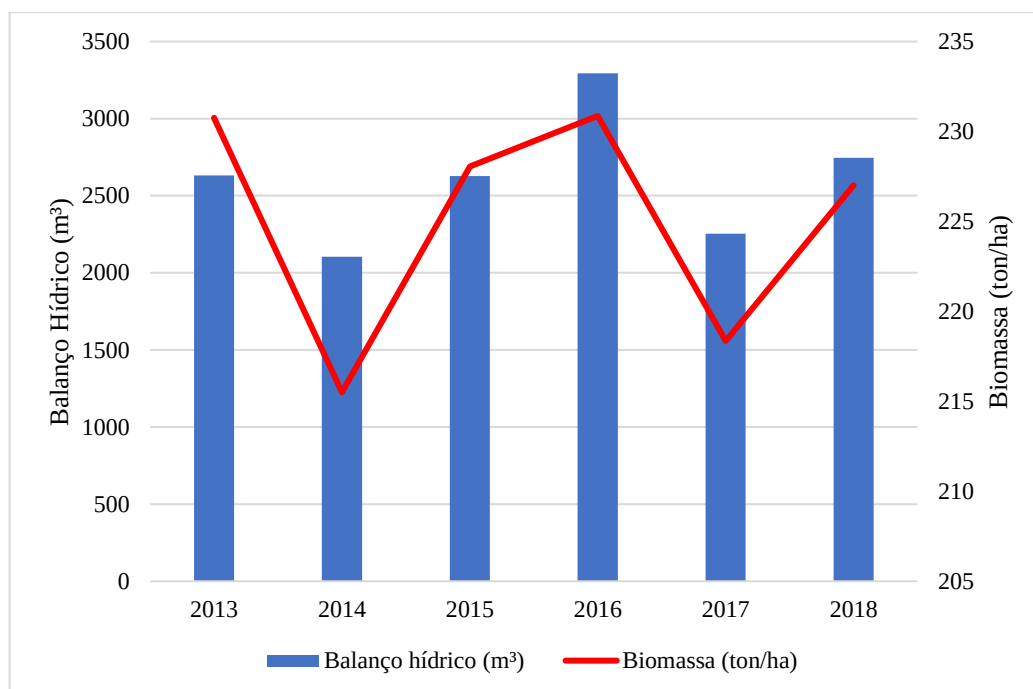


Figura 47 - Variação da biomassa florestal e do balanço hídrico da região de estudo ao longo da série temporal estudada para sub-bacia do ribeirão Serra Azul

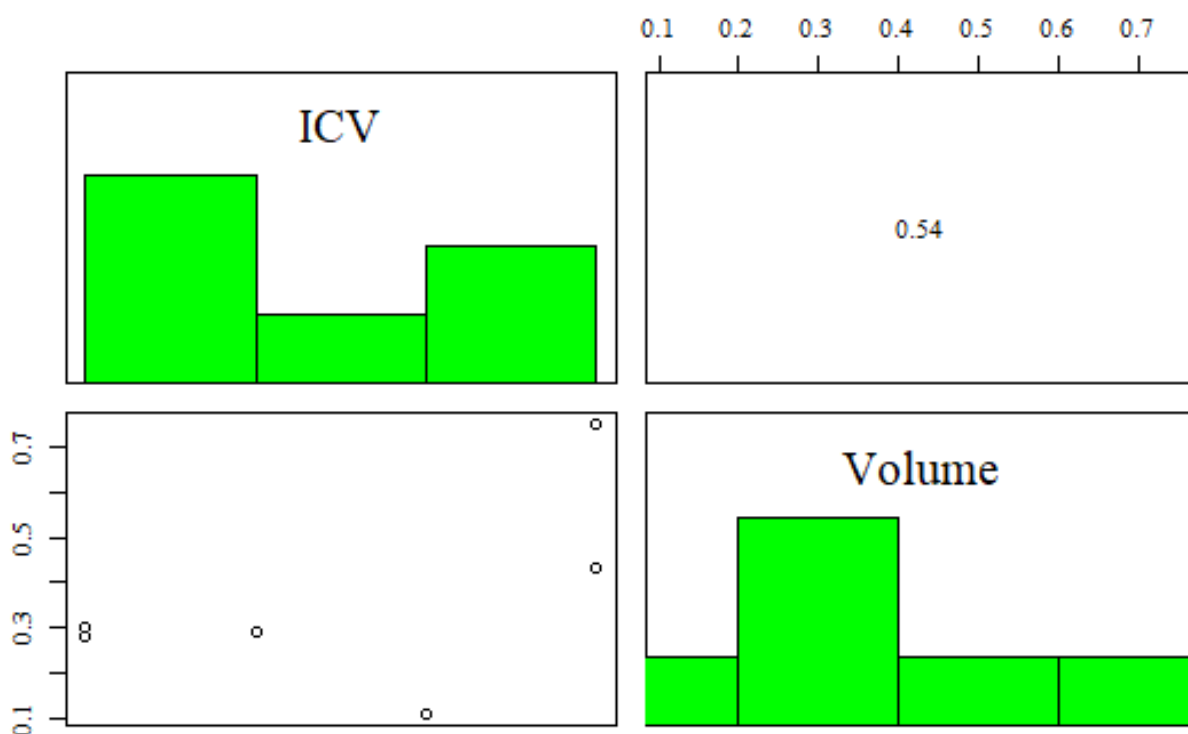


6.3.3.3 Inferências acerca da variação do volume do Reservatório Serra Azul e o consumo de água da região de estudo

Em estudos sobre a influência da seca em reservatórios de água, é possível identificar que esse fenômeno exerce uma influência no volume apresentado pela massa de água local. Entretanto, a relação não se torna forte positiva, principalmente em eventos de escassez hídrica, pelo fato de outros fatores influenciarem na alteração do volume do reservatório, como vazão de outorga e abastecimento de água (ARAÚJO JUNIOR *et al.*, 2020).

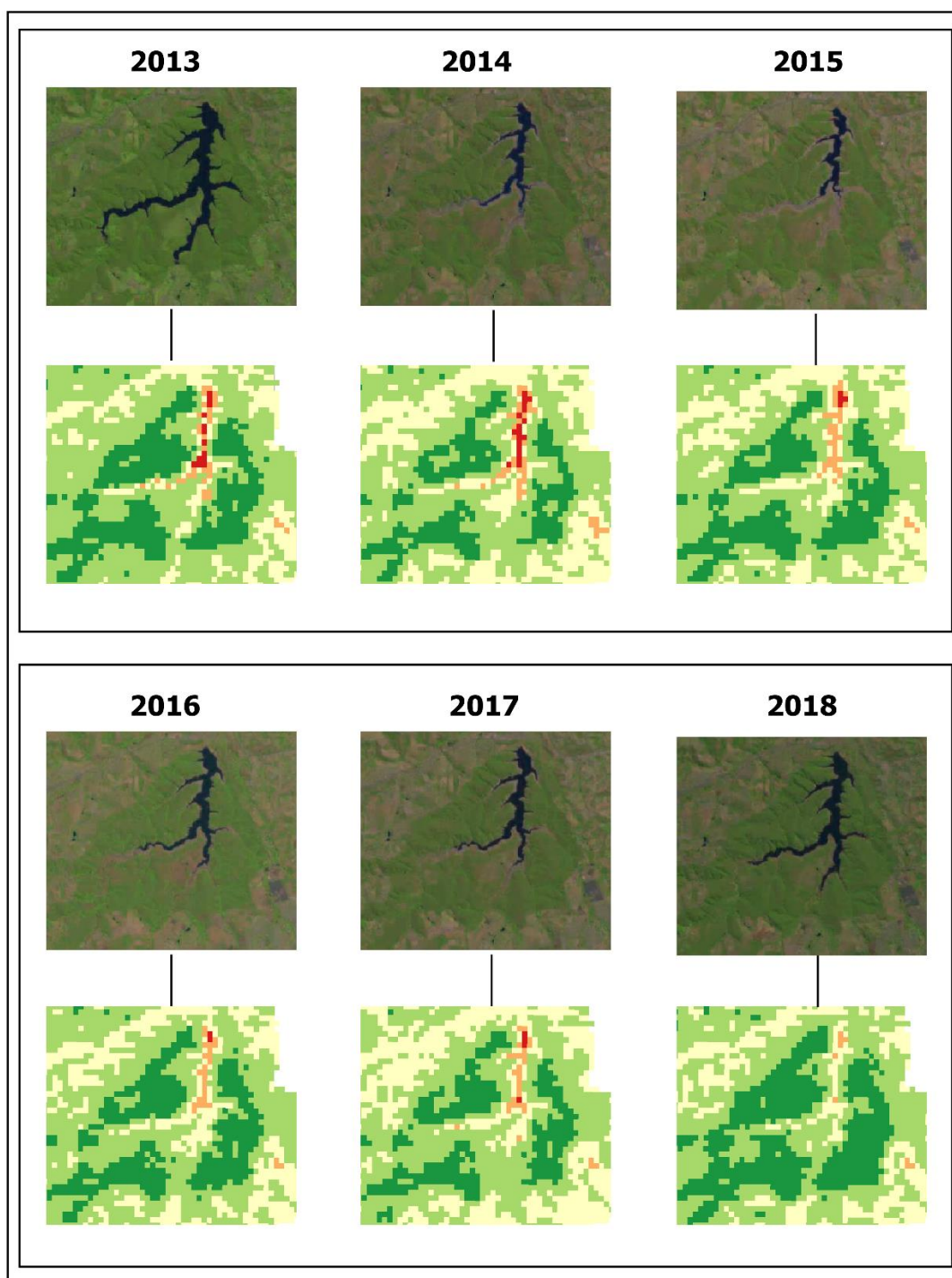
Os resultados tornaram possível identificar que o volume do reservatório da região apresentou uma relação diretamente proporcional com os dados de ICV. De acordo com os resultados encontrados (Figura 48), a correlação de ICV e volume do reservatório apresenta uma influência moderadamente positiva, correspondendo a 0.54, conforme mostrado pela correlação de Pearson calculada. Isso permitiu identificar que na medida que a seca se expande na região de estudo, o reservatório da região apresenta tendência de redução do seu volume de armazenamento de água, como já demonstrado nas análises de áreas de uso do solo e balanço hídrico da região de estudo. Essa relação vai em encontro com os estudos já realizados sobre escassez hídrica no mundo, como Uttaruk e Laosuwan (2017) e o decreto de escassez hídrica da bacia feito por Minas Gerais (2015).

Figura 48 – Correlação entre os dados anuais de ICV e porcentagem do volume de água do reservatório Serra Azul



Através da aplicação do ICV, foi possível identificar a variação da seca no reservatório Serra Azul (Figura 49). De acordo com , Florenzano (2013), Formaggio and Sanches (2017) and Ponzoni, Shimabukuro and Kuplich (2015), devido ao fato da baixa resposta espectral da água no espectro do vermelho e infravermelho, no cálculo de ICV, essas regiões tendem a apresentar um baixo valor, sendo associados as classes de seca extrema. Neste aspecto, os resultados indicaram que as regiões de seca extrema se tornam mais evidentes na medida que áreas de água diminuem. Como visto na Figura 49, a grande concentração de áreas de seca extrema no ano de 2013 favoreceu na diminuição do volume de água do reservatório, auxiliando no aparecimento do episódio de escassez hídrica sofrido pela região no ano de 2014 e 2015 (Minas Gerais, 2015). Além disso, o aumento de áreas de seca suave e moderada no reservatório, entre os anos de 2016 e 2017, contribuiu para o aumento de áreas de água em 2018.

Figura 49 – Classificação de ICV para o reservatório Serra Azul nas estações de seca (Outono e Inverno)

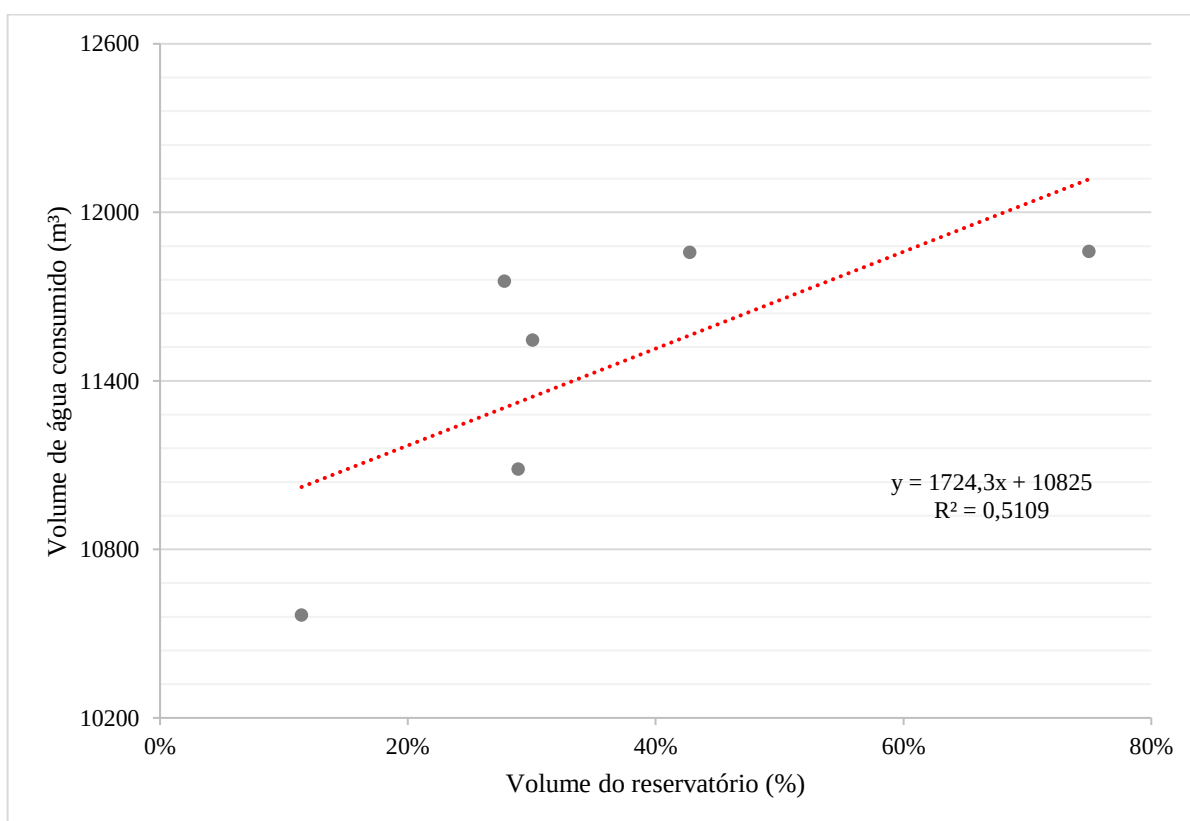


De acordo com Kamble *et al.* (2019) and Eyoh, Okeke and Ekpa (2019), Yulistya, Wibowo and Kusratmoko (2019) and Baniya *et al.* (2019), a variação das classes de ICV ocorre devido à capacidade deste índice de demonstrar a pior e a melhor condição de seca ao longo de um período de tempo devido à variação na precipitação e temperatura na região. As chuvas têm forte interação com a vegetação, podendo influenciar diretamente no vigor vegetativo de uma

região. Assim, quanto maior o armazenamento de água na estrutura da vegetação, maior o valor do ICV e menor a chance dessa vegetação sofrer eventos de seca.

Identificou-se uma relação entre o volume do reservatório e o consumo de água utilizado pela população dos municípios que compõem a bacia. Estabeleceu-se uma relação diretamente proporcional entre as variáveis volume e abastecimento de água, sendo ela moderadamente forte positiva (0.51) conforme análise de regressão realizada (Figura 50). Através das análises na Portaria IGAM nº 014, Minas Gerais (2015), foi possível verificar a presença dessa relação uma vez que no momento que foi estabelecido a crise hídrica na região, a prioridade de uso da água foi para abastecimento humano. Nesse processo, os procedimentos autorizativos de novas outorgas foram suspensos e determinou-se a redução do uso industrial e agrícola de água na região. Dessa forma, foi possível identificar que, em momentos de consequências graves do fenômeno de seca, a gestão pública pode atuar de forma a garantir o recurso para a população.

Figura 50 - Relação entre o volume de água consumido e a porcentagem do volume do Reservatório Serra Azul



Verificou-se que a dispersão entre os dados de volume de água consumido e volume do reservatório possibilitaram na obtenção do valor de R^2 de 0,51. Isso permite evidenciar que o cruzamento dos dados não apresenta a capacidade de encontrar a tendência apresentada pela equação da reta permitindo inferir outros fatores podem influenciar na relação apresentada entre

os dois parâmetros. Um exemplo de fatores externos que podem influenciar nessa relação é o estabelecimento de ferramentas de gestão, por meio de legislação, que indeferem em determinado tipo de consumo de água, como o ocorrido no decreto de escassez hídrica da bacia em 2015 (MINAS-GERAIS, 2015).

Neste aspecto, Arana *et al.* (2018), demonstra a importância de ações de gestão públicas, associadas aos comitês de bacia, como uma forma de garantir a implantação de práticas de restauração e manutenção das áreas florestais, principalmente associadas às áreas de preservação permanente. Dessa forma, os autores descrevem que o aumento da demanda de água oriunda principalmente dos sistemas de abastecimento, deve ser planejado de forma que não ocorra a falta desse recurso para população, principalmente em anos de escassez hídrica.

Um dos principais desafios atuais sobre essa temática, está associada às questões de ocupação desordenada das margens de rios, além da ausência de planejamento urbano e falta de preparo de ações para situações de escassez hídrica. Dessa forma, a identificação de regiões afetadas por meio de aplicação de índices pode auxiliar na alocação de recursos e elaboração de projetos que objetivam a manutenção das bacias e a tomada de decisão. Essas ações devem buscar formas que permitam a sustentabilidade da gestão pública, associada principalmente na gestão de recursos hídricos. Ainda, que visem a capacitação técnica e o desenvolvimento de tecnologias associadas ao monitoramento hidrológico. Para isso, a aplicação de modelos que usem variáveis hidrológicas e técnicas de sensoriamento remoto podem ser de grande valia para a construção de instrumentos de planejamento de eventos de seca e estiagem em bacias hidrográficas (ALVALÁ *et al.*, 2019; LIMA; CUPOLILLO, 2018; TUCCI; CHAGAS, 2017).

7 CONCLUSÕES

O índice de condição de vegetação (ICV) demonstrou altamente viável, para o monitoramento da seca/estiagem nos anos de estudos compreendidos entre 2013 e 2018, permitindo a delimitação efetiva dos estados de seca na sub-bacia do Ribeirão Serra Azul. Do mesmo jeito, os dados do sensor MODIS provaram sua eficácia na caracterização desse evento na referida sub-bacia. Em relação aos índices de vegetação, o NDVI mostrou-se o mais eficiente na caracterização da região espacial da sub-bacia que o EVI.

Através do uso do ICV foi possível caracterizar as diferentes tipologias de seca e correlacionar com os dados de análises ambientais realizadas na região. Além disso, também foi possível comparar o ICV com o índice de gravidade de seca que apresentaram características semelhantes, em termos de comportamento. Verificou-se, ainda, que o ICV possibilitou a descrição da umidade na região e a caracterização da precipitação e umidade do solo ao longo da série temporal analisada. Em termos do estudo da relação entre o ICV e a seca socioambiental, um fator merece destaque, em termos de dificuldades de acesso às informações relativas ao impacto da seca sobre a população. Dessa forma, não foi possível, no âmbito da pesquisa, dimensionar o impacto socioambiental ocorrido na região. Assim, sugere-se a criação de bancos de dados que visem contabilizar os impactos oriundos desse tipo de desastre para população.

Identificou-se, ainda, que a seca na região não está associada somente às questões que envolvem o entorno da bacia hidrográfica. Por meio da comparação com dados climatológicos oficiais, foi possível verificar que as massas de ar influenciam na precipitação da região e no consequente agravamento dos eventos de seca. Além disso, as atividades antrópicas no entorno da bacia influenciam no armazenamento máximo do volume de água, causando alterações no balanço hídrico da região. Esses fatores contribuem, sobremaneira, para o agravamento do quadro de seca, conforme observado entre os anos de 2014 e 2015.

Conclui-se que a seca pode ocasionar diversas consequências no ambiente, principalmente associada às questões socioambientais. Em relação ao abastecimento de água, foi possível identificar a diminuição de seu consumo em virtude da diminuição do volume do reservatório na região de estudos. Além disso, verificou-se a influência da seca na umidade do solo e, consequentemente, o seu impacto na produção de biomassa da região. Desse modo, o presente trabalho obteve resultados que podem auxiliar em futuros estudos sobre a temática, bem como auxiliar na implementação de sistemas e no planejamento de ações voltadas ao enfrentamento das consequências dos eventos de seca.

A pesquisa possibilita a sua reaplicação em outros locais, servindo como uma etapa no monitoramento de eventos de seca em bacias hidrográficas. Isso se deve principalmente ao fato dos programas utilizados na pesquisa serem do tipo *open source code*, que possibilita a utilização de bibliotecas de códigos abertos. A utilização de programas abertos possibilita o acesso de qualquer usuário ou instituição a metodologia e facilita a reaplicação do método utilizado em outros tipos de sensores e imagens de sensoriamento remoto, como Landsat, Sentinel e o mais recente satélite do sistema Amazônia (lançado no ano de 2021 pelo INPE).

Nesta perspectiva, sugere-se, para estudos futuros, a aplicação de modelos de uso do solo e modelos climatológicos, voltados à análise e prevenção do evento de seca, para os próximos anos. Para uma maior eficiência do processo, sugere-se, também, a análise local por meio de visitas de campo para maior identificação e precisão no mapeamento local da seca na região. Outro fator importante é a criação de programas de monitoramento de desastres naturais pelas entidades públicas com o intuito de utilizar dados de sensoriamento remoto como ferramenta de gestão da paisagem para criação de diagnósticos e prognósticos de situações relacionadas a escassez hídrica ou agravamento do fenômeno de seca.

REFERÊNCIAS

- AHMADALIPOUR, Ali *et al.* Remote sensing of drought: vegetation, soil moisture, and data assimilation. **Remote sensing of hydrological extremes**. 1. ed. Charm: Springer, 2017. p. 121–149.
- ALVALÁ, Regina Célia Dos Santos *et al.* Drought monitoring in the brazilian semiarid region. **Anais da Academia Brasileira de Ciencias**, v. 91, n. 1, p. 1–15, 2019.
- ALVES, Alexandre Magalhães de Moraes Ramos; MARTINS, Fabrina Bolzan; REBOITA, Michelle Simões. Balanço hídrico climatológico para Itajubá-MG: cenário atual e projeções climáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 712–732, 2020.
- ANA. **Produção de base vetorial com o Curve Number (CN) para BHO 2014 (BHO_CN)**. . Essa nota técnica é sobre a metodologia aplicada para a produção da base vetorial com o Curve Number (CN) para a Base Hidrográfica Ottocodificada de 2014, ou simplesmente BHO_CN_2018, de escala de 1:250.000, e serve como o seu metadado. Onde não for espec: Brasília, Documento no 00000.040424/2018-44. Brasil. , 2018
- ANDERSON, David R.; SWEENEY, Dennis J.; WILLIAMS, Thomas A. **Estatística para administración y economía, Cengage Learning Editores, S.A.** 10. ed. Santa Fé: CENGAGE Learning, 2008.
- ANDERSON, Martha C *et al.* Comparison of satellite-derived LAI and precipitation anomalies over Brazil with a thermal infrared-based Evaporative Stress Index for 2003-2013. **Journal of Hydrology**, v. 526, p. 287–302, 2015..
- ANDERSON, Martha C *et al.* The evaporative stress index as an indicator of agricultural drought in Brazil: an assessment based on crop yield impacts. **Remote Sensing of Environment**, v. 174, p. 82–99, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.034>>.
- ANTUNES, Denise Aparecida; CUPOLILLO, Fulvio. Análise do balanço hídrico climatológico decedial do Parque Estadual do Rio Doce - PERD e entorno: climatologia de 2005 - 2015 comparada com o ano anômalo 2013-2014. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, n. Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais –, p. 342–356, 2018.
- ANYAMBA, A.; TUCKER, C. J. Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981-2003. **Journal of Arid Environments**, v. 63, n. 3, p. 596–614, 2005.
- ANYAMBA, Assaf; TUCKER, Compton J. Historical perspectives on AVHRR NDVI and vegetation drought monitoring. **Remote Sensing of Drought: Innovative Monitoring Approaches**, p. 23–49, 2012.
- ARANA, Alba Regina Azevedo *et al.* Gestão das águas e planejamento ambiental: áreas de preservação permanente no manancial do alto curso do rio Santo Anastácio – SP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 2, p. 674–686, 2018.
- ARANTES, Tássia Borges *et al.* Effectiveness of BFAST algorithm to characterize time series of dense forest, agriculture and pasture in the amazon region. **Theoretical and applied engineering**, v. 1, n. 1, p. 10–19, 2017.
- ARAÚJO JUNIOR, Luiz Martins *et al.* Avaliação de índices de seca meteorológica e hidrológica em relação ao impacto de acumulação de água em reservatório: um estudo de cado para o reservatório de Jucazinho - PE. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias**

Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica, v. 13, n. 2, p. 382, 6 ago. 2020.

ARAÚJO, Yuri Rommel Vieira; MOREIRA, Zayne Christina Gonçalves; NEVES, Arinaldo Inácio Das. Estoque de carbono e de biomassa em vegetação com diferentes estágios de regeneração e alterações antrópicas em área urbana. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n. 2, p. 46–61, 2020.

BACCINI, A. *et al.* Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon density maps. **Nature Climate Change**, v. 2, n. 3, p. 182–185, 2012.

BANIYA, Binod *et al.* Spatial and temporal variation of drought based on satellite derived vegetation condition index in Nepal from 1982–2015. **Sensors (Switzerland)**, v. 19, n. 2, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/s19020430>>.

BAYARJARGAL, Y. *et al.* A comparative study of NOAA-AVHRR derived drought indices using change vector analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 105, n. 1, p. 9–22, 2006.

BEECHAM, S.; RAZZAGHMANESH, M. Water quality and quantity investigation of green roofs in a dry climate. **Water Research**, v. 70, p. 370–384, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.12.015>>.

BERHAN, G.; HILL, S.; TADESSE, T. Using satellite images for drought monitoring: A knowledge discovery approach. **Journal Of Strategic Innovation And Sustainability**, p. 135–153, 2011.

BESSA, MARCELO *et al.* **Projeto Estratégico ANEEL 001/2008: Otimização de despacho hidrotérmico mediante algoritmos híbridos com computação de alto desempenho**. Curitiba: LACTEC - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2012.

BHUIYAN, C.; KOGAN, F. N. Monsoon variation and vegetative drought patterns in the Luni Basin in the rain-shadow zone. **International Journal of Remote Sensing**, v. 31, n. 12, p. 3223–3242, 2010.

BLAIN, Gabriel Constantino; BRUNINI, Orivaldo. Avaliação adaptação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) e do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) às condições climáticas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 64, n. 4, p. 695–705, 2005.

BOKEN, Vijendra K. Agricultural drought and its monitoring and prediction: some concepts. In: BOKEN, VIJENDRA K.; CRACKNELL, ARTHUR P.; HEATHCOTE, RONALD L.; (Org.). **Monitoring and Predicting Agricultural Drought: A Global Study**. 1. ed. New York: OXFORD University Press, 2005. v. 1. p. 3–8.

BONIFACIO, R.; DUGDALE, G.; MILFORD, J. R. Sahelian rangeland production in relation to rainfall estimates from Meteosat. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, n. 14, p. 2695–2711, 1993.

BOONGALING, Cheamson Garret K.; ESLAVA, Decibel V. Faustino; LANSIGAN, Felino P. Modeling land use change impacts on hydrology and the use of landscape metrics as tools for watershed management: The case of an ungauged catchment in the Philippines. **Land Use Policy**, v. 72, n. August 2016, p. 116–128, 2018.

BRANCO, Elvis Ricardo Figueira. **Ocorrências de seca e tendências da vegetação na reserva biológica de sooretama e zona de amortecimento, no estado do Espírito Santo, Brasil**. Dissertação ed. Jerônimo Monteiro: Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa;

altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e : Brasília, DOU de 28.5.2012, Brasil. , 2012

BRIANEZI, Daniel *et al.* Equações alométricas para estimativa de carbono em árvores de uma área urbana em Viçosa-MG. **Revista Arvore**, v. 37, n. 6, p. 1073–1081, 2013.

BRIASSOULIS, Helen. **The Web Book of Regional Science Sponsored by Analysis of Land Use Change : Theoretical and Modeling Approaches By Helen Briassoulis**. Randall Jackson: West Virginia University, 2019.

CARPENEDO, Camila Bertoletti. Atividade convectiva associada às anomalias de temperatura da superfície do mar no atlântico tropical e impactos climáticos no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, n. Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais, p. 361–376, 2016.

CASTRO, Cleber Marques; PEIXOTO, Maria Náise De Oliveira; RIO, Gisela Aquino Pires. Riscos ambientais e Geografia: Conceituações, abordagens e escalas. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 28, n. 2, p. 11–30, 2005.

CHANDRASEKAR, K *et al.* Monitoring of agricultural drought using satellite based drought severity index over andhra pradesh state of India. **International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS**, v. 6, n. 1, p. 2343–2359, 2017.

CHANGNON, Stanley A. *et al.* Human factors explain the increased losses from weather and climate extremes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 81, n. 3, p. 437–442, 2000.

CHAVES, Michel Eustáquio Dantas; MATAVELI, Guilherme Augusto Verola; JUSTINO, Rodrigo Cesário. Uso da modelagem estatística para monitoramento da vegetação no Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 120–132, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2014v24nespp120>>.

CLEUGH, Helen A. *et al.* Regional evaporation estimates from flux tower and MODIS satellite data. **Remote Sensing of Environment**, v. 106, n. 3, p. 285–304, 2007.

COELHO, Caio A. S.; CARDOSO, Denis H.F.; FIRPO, Mári A.F. A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil. **Climanálise**, n. 1, p. 55–61, 2016.

COHEN, Jacob. **No Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. Second ed. Mahwah: Lawrence Erlbaum, 1998.

COUTINHO, Fernando Silva *et al.* Atributos edáficos em áreas de agricultura, pastagem e três Estágios Sucessionais de Floresta. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1–11, 2017.

COUTINHO, Leopoldo Magno. O conceito de bioma. **Acta Botânica Brasileira**, v. 20, n. 1, p. 13–23, 2006.

COVELE, Paulo Alberto. Aplicação de índices das condições de vegetação no monitoramento em tempo quase real da seca em Moçambique usando NOAA-AVHRR. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, n. 29, p. 85–95, 2011.

COX, D. R.; STUART, A. Some quick sign tests for trend in location and dispersion. **Biometrika**, v. 42, n. 1/2, p. 80, 1955.

CRESESB. **ATLAS Solarimétrico do Brasil**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2000.

- CUNHA, Ana Paula M. do Amaral *et al.* Avaliação de indicador para o monitoramento dos impactos da seca em áreas de pastagens no Semiárido do Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 1, p. 89–106, 2017.
- CUNHA, Ana Paula M.A. *et al.* Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019. **Atmosphere**, v. 10, n. 11, 2019.
- DAEE. *Relatório Final – Regionalização de vazões das sub-bacias 40 e 41*. 1. ed. Belo Horizonte: CPRM, 2000. v. I.
- DANCEY, Christine P; REIDY, John. **Estatística sem Matemática para Psicologia: usando SPSS para Windows**. Porto Alegre: Penso, 2006.
- DAVIES, Neville; CHATFIELD, C. **The analysis of time series: an introduction**. 6. ed. New York Washington: CHAPMAN & HALL/CRC, 1990. v. 74.
- DECHANT, Caleb M.; MORADKHANI, Hamid. Analyzing the sensitivity of drought recovery forecasts to land surface initial conditions. **Journal of Hydrology**, v. 526, p. 89–100, 2015.
- DECHANT, Caleb M.; MORADKHANI, Hamid. Toward a reliable prediction of seasonal forecast uncertainty: Addressing model and initial condition uncertainty with ensemble data assimilation and Sequential Bayesian Combination. **Journal of Hydrology**, v. 519, n. PD, p. 2967–2977, 2014..
- DETZEL, Daniel H. Marco *et al.* Estacionariedade das afluições às usinas hidrelétricas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 3, p. 95–111, 2011.
- DNAEE. **Bacia representativa de Juatuba; série E-02 (dados atualizados até 1975)**. 1. ed. Brasília: Departamento de águas e energia elétrica, 1981.
- DRACUP, John A; LEE, Kil Seong; PAULSON-JUNIOR, Edwin G. On the definition of droughts. **Water resources Research**. 1980. v. 16. p. 297–302.
- DU, Lingtong *et al.* A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 23, n. 1, p. 245–253, 2013..
- DUBREUIL, V. *et al.* Os tipos de climas anuais no Brasil: Uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. *Confins. Revue franco- brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia*, v. 37, 2018.
- DUFT, Daniel Garbellini; PICOLI, Michelle Cristina Araujo. Uso de imagens do sensor MODIS para identificação da seca na cana-de-açúcar através de índices espectrais. **Scientia Agraria**, v. 19, n. 1, p. 52, 2018.
- DUTRA, Débora Joana; BRIANEZI, Daniel; COELHO, Carlos Wagner Gonçalves Andrade. Uso de Geotecnologias para Análise da Dinâmica da Vegetação da Sub-bacia do Ribeirão Serra Azul, MG. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 43, n. 4, p. 283–292, 18 dez. 2020.
- DUTRA, Débora Joana; ELMIRO, Marcos Antônio Timbó; GARCIA, Ricardo Alexandrino. Comparative analysis of methods applied in vegetation cover delimitation using Landsat 8 images. **Sociedade & Natureza**, v. 32, n. July, p. 699–710, 9 out. 2020.
- EASTMAN, J. Ronald; FULK, Michele. Long sequence time series evaluation using standardized principal components. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.

59, n. 8, p. 1307–1312, 1993.

EITEN, George. **The cerrado vegetation of Brazil**. 1. ed. Brasília: Universidade de Brasília, 1972. v. 38.

EYOH, Aniekan; OKEKE, Francis; EKPA, Akwaowo. Assessment of the effectiveness of the Vegetation Condition Index (VCI) as an indicator for monitoring drought condition across the Niger Delta region of Nigeria using AVHRR / MODIS NDVI. **European Journal of Earth and Environment**, v. 6, n. 1, p. 12–18, 2019.

FARNSWORTH, David L. A cautionary note concerning the Cox and Stuart Test. **Teaching Statistics**, v. 23, n. 3, p. 76–79, 2001.

FARR, Tom G. *et al.* The Shuttle Radar Topography Mission. **Reviews of Geophysics**, v. 45, n. 2, p. 1–33, 2007.

FERNANDES, Diego Simões *et al.* **Índices para a Quantificação da Seca**. 1. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009.

FERREIRA, Thomás Rocha *et al.* Preliminary analysis of drought in 2012 in semi-arid of Alagoas using Indices of Vegetation through sensor MODIS. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 5, n. 1, p. 001–012, 2015.

FERREIRA, Vinícius Verna M. *et al.* Caracterização dos sedimentos do Ribeirão Serra Azul – Bacia representativa de Juatuba , MG. **Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**, n. December 2014, p. 1–17, 2014.

FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; SILVA JÚNIOR, José Alexandre. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115–146, 2009.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3º edição ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

FOLEY, Jonathan A. *et al.* Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570–574, 2005.

FORMAGGIO, Antônio Roberto; SANCHES, Ieda Del’Arco. Índices espectrais de vegetação x agricultura. **Sensoriamento remoto em agricultura**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017a. p. 95–113.

FORMAGGIO, Antônio Roberto; SANCHES, Ieda Del’Arco. **Sensoriamento remoto em agricultura**. 1º ed. São José dos Campos: Oficina de Textos, 2017b.

FRANZ, P. R. F. **Balanço hídrico horário na bacia de Serra Azul MG - visando ao desenvolvimento agropecuário em cerrados**. Porto Alegre: Dissertação (Programa de PósGraduação em Hidrologia Aplicada) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1977.

FULLER, D. O. Trends in NDVI time series and their relation to rangeland and crop production in Senegal, 1987-1993. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 10, p. 2013–2018, 1998.

FULLER, W. A. **Introduction to statistical time series**. 2. ed. New York: Wiley-Interscience Publication, 1996.

GEBEYEHU, Ayele Elias *et al.* Drought event analysis and projection of future precipitation

scenario in Abaya Chamo sub-basin, Ethiopia. **Journal of Engineering and Technological Sciences**, v. 51, n. 5, p. 707–728, 2019.

GOMES, Aldenia Ribeiro dos Santos *et al.* Estudo da Relação entre a Variabilidade dos índices de Vegetação e Temperatura da Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 3, p. 359–368, 2019.

GOMES, Ana Carolina Campos; BERNARDO, Nariane; ALCÂNTARA, Enner. Accessing the southeastern Brazil 2014 drought severity on the vegetation health by satellite image. **Natural Hazards**, v. 89, n. 3, p. 1401–1420, 2017.

GOW, L. J. *et al.* A detection problem: Sensitivity and uncertainty analysis of a land surface temperature approach to detecting dynamics of water use by groundwater-dependent vegetation. **Environmental Modelling and Software**, v. 85, p. 342–355, 2016.

HAO, Cui; ZHANG, Jiahua; YAO, Fengmei. Combination of multi-sensor remote sensing data for drought monitoring over Southwest China. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 35, n. PB, p. 270–283, 2015.

HAYES, M. J. *et al.* Drought monitoring: historical and current perspectives. **Remote sensing of drought: innovative monitoring approaches**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2012. p. 1–19.

HUETE, A. *et al.* Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 195–213, 2002.

HUFFMAN, George J.; BOLVIN, David T. TRMM and other data precipitation data set documentation. **NASA documentation**, v. 35, n. 4, p. 290–291, 2018.

IBGE. **Dados vetoriais**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-ambientais/climatologia/15817-clima.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

IGAM. **Decisão de outorgas**. Disponível em: <<http://outorga.meioambiente.mg.gov.br/index.php?r=portaria/listar>>. Acesso em: 23 out. 2020.

INFOCLIMA. **Boletins mensais**. Disponível em: <<http://infoclima.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 11 ago. 2020.

INMET. **Boletim Agroclimático**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/?r=agrometeorologia/boletinsAgroclimatologicos>>. Acesso em: 11 ago. 2020.

INOCÊNCIO, Tiago De M; NETO, Alfredo Ribeiro; SOUZA, Alzira G S S. Soil moisture obtained through remote sensing to assess drought events. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 9, p. 575–580, 2020.

IVERSON, L. R. *et al.* Use of GIS for estimating potential and actual forest biomass for continental south and Southeast Asia. **Effects of land-use change on atmospheric CO concentrations**. Berlin: Springer-Verlag, 1994. .

JACONDINO, William Duarte; CONRADO, Humberto; NASCIMENTO, Ana. Análise de veranicos intensos na região sul do Brasil e condições sinóticas associadas analysis of intense small summers in southern Brazil and associated synoptic conditions. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 2, p. 377–389, 2018.

JAKUBAUSKAS, Mark E.; LEGATES, David R.; KASTENS, Jude H. Harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 67, n. 4, p. 461–470, 2001.

JARDIM, Carlos Henrique; MOURA, Felipe Pereira. Variação dos totais de chuvas e temperatura do ar na bacia do rio Pandeiros, norte do estado de Minas Gerais - Brasil: articulação com fatores de diferentes níveis escalares em área de transição climática de cerrado para semiárido. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 149–164, 2018.

JIAO, Wenzhe *et al.* A new multi-sensor integrated index for drought monitoring. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 268, n. July 2018, p. 74–85, 2019..

JIAO, Wenzhe *et al.* Evaluating an enhanced vegetation condition index (VCI) based on VIUPD for drought monitoring in the continental United States. **Remote Sensing**, v. 8, n. 3, 2016.

KÄFER, Pâmela Suélen; REX, Franciel Eduardo. Avaliação espectral e temporal de remanescentes da mata atlântica com dados Spot-Vgt e variáveis meteorológicas. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 1, p. 13–22, 2020.

KAMBLE, Deepa B *et al.* Drought assessment for kharif rice using standardized precipitation index (SPI) and vegetation condition index (VCI). **Journal of Agrometeorology**, v. 21, n. 2, p. 182–187, 2019.

KOGAN, F. N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. **Advances in Space Research**, v. 15, n. 11, p. 91–100, 1995a.

KOGAN, F. N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. **Advances in Space Research**, v. 15, n. 11, p. 91–100, 1995b..

KOGAN, F. N. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. **Bulletin - American Meteorological Society**, v. 76, n. 5, p. 655–668, 1995c.

KOGAN, F. N.; ZHU, X. Evolution of long-term errors in NDVI time series: 1985-1999. **Advances in Space Research**, v. 28, n. 1, p. 149–153, 2001.

LEE, R. *et al.* Evaluating vegetation phenological patterns in Inner Mongolia using NDVI time-series analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 12, p. 2505–2512, 2002.

LEIVAS, Janice Freitas *et al.* Monitoramento da seca 2011/2012 no nordeste brasileiro a partir do satélite Spot-vegetation e TRMM. **Revista Engenharia Na Agricultura - Reveng**, v. 22, n. 3, p. 211–221, 2014.

LIANG, Liang *et al.* Long-term spatial and temporal variations of vegetative drought based on vegetation condition index in China. **Ecosphere**, v. 8, n. 8, 2017.

LIMA, Jean Monteiro; CUPOLILLO, Fulvio. Análise espaço-temporal das chuvas persistentes na região do Parque Estadual do Rio Doce - PERD, sob influências das ZCAS e ZCOU (out/2015 a dez/2016). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, n. Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais –, p. 149–164, 2018.

LIMA, Walter de Paula. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008.

LIU, W. T.; KOGAN, F. N. Monitoring regional drought using the vegetation condition

index. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 14, p. 2761–2782, 1996.

LIU, Zhiyong *et al.* A probabilistic assessment of the likelihood of vegetation drought under varying climate conditions across China. **Scientific Reports**, v. 6, n. May, p. 1–10, 2016.

LOPES, Helio L. *et al.* Espacialização da umidade do solo por meio da temperatura da superfície e índice de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 9, p. 973–980, 2011.

MACEDO, Hudson de Azevedo *et al.* Balanço hídrico da Bacia do Alto Paraguai por meio de dados TRMM e MOD16A2. **Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, p. 341–351, 2018.

MACKEE, Thomas B.; DOESKEN, Nola J.; KLEIST, John. The relationship of drought frequency and duration to time scales. **Eingth Conference on Applied Climatology**, p. 17–22, 1993.

MAES, Joachim; CROSSMAN, Neville D.; BURKHARD, Benjamin. **Mapping ecosystem services**. 1. ed. Bulgaria: PENSOFT, 2018.

MAGALHÃES, Anderson J. da Silva *et al.* Veranicos no Brasil: Observações e Modelagens (CMIP5). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 4, p. 597–626, 2019.

MARENGO, José A. *et al.* A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, n. 106, p. 31, 2015.

MARTINS, Osvaldo Stella *et al.* **Estimativa da densidade de biomassa potencial com uso de SIG no Estado de São Paulo**. 1. ed. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo Secretaria. Secretaria do Meio Ambiente, 2009.

MELLO, Kaline De; TOPPA, Rogério Hartung; LEITE, Eliana Cardoso. Priority areas for forest conservation in an urban landscape at the transition between Atlantic Forest and Cerrado. **Cerne**, v. 22, n. 3, p. 277–288, 2016.

MELO, Antônio Carlos Galvão De; DURIGAN, Giselda. Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 149–154, 2006.

MELO, Ewerton Torres; SALES, Marta Celina Linhares; OLIVEIRA, José Gerardo Bezerra De. Aplicação do índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos Cavalos, Crateús - CE. **Ra'E Ga**, v. 23, p. 520–533, 2011.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2013.

MENDONÇA, F.; OLIVEIRA, I. M. DANNI. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

MINAS-GERAIS. **Portaria IGAM nº 014, de 08 de abril de 2015**. Declara situação crítica de escassez hídrica superficial na porção hidrográfica localizada no reservatório Serra Azul e a sua bacia de contribuição.: Belo Horizonte. , 2015

MISHRA, Ashok K.; SINGH, Vijay P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, v. 391, n. 1–2, p. 202–216, 2010.

MMA. **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite**. 1. ed. Brasília:

IBAMA, 2011.

MONTAÑO, Marcelo; SOUZA, Marcelo Pereira De. Integração entre planejamento do uso do solo e de recursos hídricos: A disponibilidade hídrica como critério para a localização de empreendimentos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 489–495, 2016.

MOODY, Aaron; JOHNSON, David M. Land-surface phenologies from AVHRR using the discrete fourier transform. **Remote Sensing of Environment**, v. 75, p. 305–323, 2001.

MOREIRA, Adriana Aparecida *et al.* Balanço hídrico no Pantanal: uma abordagem por sensoriamento remoto. **Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, p. 695–704, 2018.

MORETTIN, Pedro Alberto; TOLOI, Cléia Maria de Castro. **Análise de séries temporais**. 4. ed. New Jersey: Blucher, 2006.

MORETTIN, Pedro Alberto; TOLOI, Cléia Maria de Castro. **Modelos para previsão de séries temporais**. Rio de Janeiro: Instituto de Matemática Pura e Aplicada, 1981.

MU, Qiaozhen *et al.* A remotely sensed global terrestrial drought severity index. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 94, n. 1, p. 83–98, 2013.

MU, Qiaozhen; ZHAO, Maosheng; RUNNING, Steven W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 8, p. 1781–1800, 2011.

MU, Qiaozhen; ZHAO, Maosheng; RUNNING, Steven W. **MODIS global terrestrial evapotranspiration (ET) product (NASA MOD16A2/A3) collection 5**. 1. ed. Missoula: NASA Headquarters, 2013.

NAGHETTINI, Mauro; PINTO, Eber José de Andrade. **Hidrologia Estatística**. Brasília: CPRM, 2007.

NAOUM, S.; TSANIS, I. K. Temporal and spatial variation of annual rainfall on the island of Crete, Greece. **Hydrological Processes**, v. 17, n. 10, p. 1899–1922, 2003.

NASCIMENTO, Moyses *et al.* Teste dos sinais para tendência: uma aplicação em melhoramento de plantas. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 26, n. 4, p. 19–30, 2008.

NATIVIDADE, Ulisses Antônio; GARCIA, Sâmia Regina; TORRES, Roger Rodrigues. Tendência dos índices de extremos climáticos observados e projetados no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, p. 600–614, 2017.

NEVES, Betânia Vilas Boas. Geoprocessamento como ferramenta no estudo de correlação entre a dinâmica da cobertura vegetal e evapotranspiração na bacia do Ribeirão Serra Azul - MG. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 1857, n. 31, p. 211, 2005.

NEVES, Betânia Vilas Boas; VERSIANI, Bruno Rabelo; RODRIGUES, Paulo César Horta. Geoprocessamento como Ferramenta no Estudo de Correlação entre a Dinâmica da Cobertura Vegetal e a Evapotranspiração. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 4, p. 87–102, 2007.

NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

NORA, E.L. Dalla; SANTOS, J.E. Análise da dinâmica sazonal de duas formações florestais do bioma Mata Atlântica com base em índices de vegetação. **Perspectiva**, v. 34, n. 125, p. 41–51, 2010.

- PALLOTTA, Mariana; NAKAZATO, Renata Yumi. Caracterização de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) em janeiro e fevereiro de 2010. **PhD Proposal**, v. 1, 2015.
- PANU, U. S.; SHARMA, T. C. Challenges in drought research: some perspectives and future directions. **Hydrological Sciences Journal**, v. 47, n. October 2014, p. S19–S30, 2014.
- PARANHOS, Ranulfo *et al.* Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson: o Retorno. **Leviathan (São Paulo)**, n. 8, p. 66, 2014.
- PEARSON, Karl. The grammar of science. **Nature**, v. 46, n. 1185, p. 247–247, 1982.
- PEARSON, Karl; FISCHER, Ronald; INMAN, Henry F. Karl Pearson and R. A. Fischer on Statistical Test: A 1935 exchange from nature. **The American Statistician**, v. 48, n. 1, p. 2–11, 1994.
- PHILLIPS, Oliver L. *et al.* Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. **Science**, v. 323, n. 3–4, p. 1344–1347, 2009.
- PIWOWAR, J. M.; LEDREW, E. F. ARMA time series modelling of remote sensing imagery: A new approach for climate change studies. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 24, p. 5225–5248, 2002.
- PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; KUPLICH, Tatiana Mora. **Sensoriamento remoto da vegetação**. São José dos Campos: Oficina de Textos, 2015.
- POPP, Alexander *et al.* Land-use futures in the shared socio-economic pathways. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 331–345, 2017.
- POTTER, Christopher *et al.* Major disturbance events in terrestrial ecosystems detected using global satellite data sets. **Global Change Biology**, v. 9, n. 7, p. 1005–1021, 2003.
- QUESADA, Heloise Beatriz *et al.* Análise da vegetação ripária em bacia hidrográfica utilizando Índice de Vegetação Normalizada (NDVI) no município de Maringá-PR. **Geo UERJ**, v. 0, n. 31, p. 439–455, 2017.
- QUIRING, Steven M.; GANESH, Srinivasan. Evaluating the utility of the Vegetation Condition Index (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 3, p. 330–339, 2010.
- RAO, Mahesh *et al.* Mapping drought-impacted vegetation stress in California using remote sensing. **GIScience and Remote Sensing**, v. 54, n. 2, p. 185–201, 2017.
- REBOITA, Michelle Simões *et al.* Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, p. 206–226, 2015.
- ROLDÃO, Aline de Freitas. **Influência do fenômeno veranico na produtividade da soja na mesorregião do Triângulo Mineiro / Alto Paranaíba - MG**. Dissertação ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2015.
- ROSA, Paulo Afonso *et al.* Dinâmica da floresta do parque estadual do turvo com índices de vegetação. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 487–499, 2013.
- ROSSATO, Luciana *et al.* Impact of soil moisture over Palmer Drought Severity Index and its future projections in Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos Brazilian**, v. 22, n. 36, 2017.

ROUSE, J. W. *et al.* Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. **Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) symposium**, v. 1, p. 309–317, 1973.

ROUSE, J.W. *et al.* **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. College Station, Texas: NASA, 1974.

SACRAMENTO- NETO, Olivio Bahia Do; ESCOBAR, Gustavo Carlos Juan; SILVA, Philipp Edson Dias Da. Método objetivo para identificar episódios de Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU) no ambiente operacional do Centro de Previsão de Tempo e Estados Climáticos - CPTEC. **IX Congresso Brasileiro de Meteorologia**, n. 26, p. 1–5, 2010.

SANAHUJA, Jose Antonio. De los objetivos del milenio al desarrollo sostenible: Naciones Unidas y las metas globales post-2015. **Anuario CEIPAZ 2014-15**, n. April, p. 49–83, 2014.

SANQUETTA, Carlos Roberto *et al.* Dinâmica em superfície, volume, biomassa e carbono nas florestas nativas brasileiras: 1990-2015. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 193, 2018.

SANTOS, Mayronne Joaquim Fonseca Dos *et al.* Fitossociologia e estrutura diamétrica de um fragmento de cerrado Sensus Stricto, sul do Tocantins. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 3, p. 328–334, 2017.

SANTOS, M.J.J. **Caracterização e Monitoramento de Secas**. 1. ed. Brasília: Instituto da Água - Direção de Serviços de Recursos Hídricos (INAG-DSRH), 1998.

SAUSEN, Tania Maria; LACRUZ, Maria Silvia Pardi. **Sensoriamento remoto para desastres**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

SHABANOV, Nikolay V. *et al.* Analysis of interannual changes in northern vegetation activity observed in AVHRR data from 1981 to 1994. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 40, n. 1, p. 115–130, 2002.

SHEN, Zhenyao *et al.* Impact of landscape pattern at multiple spatial scales on water quality: A case study in a typical urbanised watershed in China. **Ecological Indicators**, v. 48, p. 417–427, 2015.

SILVA, Paola do Nascimento; ESCOBA, Gustavo Carlos Juan; REBOITA, Michelle Simões. Eventos extremos de precipitação no Estado de Minas Gerais associados com a ocorrência de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 1013–1023, 2020.

SLAYBACK, DANIEL A. *et al.* Northern hemisphere photosynthetic trends 1982-99. **Global Change Biology**, v. 9, n. 1, p. 1–15, 2003.

SNIF. **Estoque das Florestas - Referências - Metadados**. Disponível em: <<http://snif.florestal.gov.br/pt-br/estoques-das-florestas/627-metadados?tipo=tableau&modal=1>>.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**. Disponível em: <<http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 23 out. 2020.

SOARES-FILHO, Britaldo *et al.* Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: The Santarém-Cuiabá corridor. **Global Change Biology**, v. 10, n. 5, p. 745–764, 2004.

SOARES, A. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente**. Rio de Janeiro: Instituto Superior Técnico, 2000.

- SOARES FILHO, Britaldo *et al.* Brazil's market for trading forest certificates. **PLOS ONE**, v. 11, n. 4, p. 1–17, 2016.
- SOUSA-JÚNIOR, Manoel de Araújo; SAUSEN, Tania Maria; LACRUZ, María Silvia Pardi. **Monitoramento de estiagem na região sul do Brasil utilizando dados ENVI/MODIS no período de dezembro de 2000 a junho de 2009**. 2011, Curitiba: INPE, 2011. p. 7934–7941.
- SOUZA, José Carlos De *et al.* Dinâmica espacial e sazonal da temperatura, umidade e estresse hídrico em diferentes tipos de cobertura vegetal. **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 37, p. 80–94, 2019.
- TANNEHILL, I. R. **Drought: Its Causes and Effects**. New Jersey: Princeton University Press, 1947.
- TRAN, Thuong V. *et al.* Assessing spatiotemporal drought dynamics and its related environmental issues in the Mekong River Delta. **Remote Sensing**, v. 11, n. 23, p. 1–23, 2019.
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4ª ed. Porto Alegre: UFRGS (ABRH), 2012.
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; CHAGAS, Maria de Fátima. Segurança hídrica: conceitos e estratégia para Minas Gerais. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 14, n. 1, p. 0–0, 2017.
- UFSC. **Atlas brasileiro de desastres naturais**. 2. ed. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013a. v. Minas Gera.
- UFSC. **Atlas brasileiro de desastres naturais - 1991 a 2012**. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013b. v. Brasil.
- USDA. **Urban hydrology for small watersheds**. June ed. Washington: USDA, 1986.
- UTTARUK, Yannawut; LAOSUWAN, Teerawong. Drought detection by application of remote sensing technology and vegetation phenology. **Journal of Ecological Engineering**, v. 18, n. 6, p. 115–121, 2017.
- VAANI, N.; PORCHELVAN, P. Monitoring of agricultural drought using fortnightly variation of vegetation condition index (VCI) for the state of Tamil Nadu, India. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, v. 42, n. 4/W9, p. 159–164, 2018.
- VAN HOEK, Mattijn *et al.* Early drought detection by spectral analysis of satellite time series of precipitation and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). **Remote Sensing**, v. 8, n. 422, p. 1–17, 2016.
- VAN LANEN, Henny A.J. *et al.* Hydrology needed to manage droughts: the 2015 European case. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 17, p. 3097–3104, 2016.
- VAZ, A.C.; HIPÓLITO, J.R. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. 2ª ed. Lisboa: Universitária do Instituto Superior Técnico, 2013.
- VIEIRA, SR *et al.* Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v. 51, n. 3, p. 1–75, 1983.
- VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Editora McGraw Hill do Brasil, 1975.

- WANG, Hong *et al.* Monitoring the effects of land use and cover type changes on soil moisture using remote-sensing data: A case study in China's Yongding River basin. **Catena**, v. 82, n. 3, p. 135–145, 2010.
- WECK, J. An improved CVP-index for the delimitation of the potential productivity zones of forest lands of India. **Indian Forester**, v. 96, p. 565, 1970.
- WEST, Harry; QUINN, Nevil; HORSWELL, Michael. Remote sensing for drought monitoring & impact assessment: progress, past challenges and future opportunities. **Remote Sensing of Environment**, v. 232, n. November 2018, p. 111291, 2019.
- WILHITE, Donald A. Drought. **Encyclopedia of Earth System Science**, v. 2, p. 81–92, 1992.
- WILHITE, Donald A. *Drought Volume I: A Global Assessment*. New York: Wilhite, 2000.
- WILHITE, Donald A.; MICHAEL H. GLANTZ. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. **Water International**, v. 10, n. 3, p. 111–120, 1985.
- WILHITE, Donald A; SVOBODA, Mark D. **Drought early warning systems in the context of drought preparedness and mitigation**. 1. ed. Nebraska: National Drought Mitigation Center, 2000.
- WMO. **Drought monitoring and early warning : concepts , progress and future challenges**. 1. ed. Washington: WMO, 2006.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Drought and agriculture**. Geneva: WMO, 1975.
- WU, Zhouting *et al.* MODIS derived vegetation index for drought detection on the San Carlos Apache Reservation. **International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS**, v. 5, n. 1, p. 1524–1538, 2016.
- YAMAMOTO, Jorge Kazuo; LADIM, Paulo M Barbosa. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- YULISTYA, V. D.; WIBOWO, A.; KUSRATMOKO, E. Assessment of agricultural drought in paddy field area using Vegetation Condition Index (VCI) in Sukaresmi District, Cianjur Regency. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 311, n. 1, 2019.
- ZAMBRANO, Francisco *et al.* Sixteen years of agricultural drought assessment of the biobío region in Chile using a 250 m resolution vegetation condition index (VCI). **Remote Sensing**, v. 8, n. 6, p. 1–20, 2016.
- ZHAN, Zhiming; QIN, Qiming; WANG, Xin. The application of LST/NDVI index for monitoring land surface moisture in semiarid area. **International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)**, v. 3, n. C, p. 1551–1554, 2004.
- ZHANG, Jie; MU, Qiaozhen; HUANG, Jianxi. Assessing the remotely sensed Drought Severity Index for agricultural drought monitoring and impact analysis in North China. **Ecological Indicators**, v. 63, p. 296–309, 2016.
- ZHANG, Lifu *et al.* Studying drought phenomena in the Continental United States in 2011 and 2012 using various drought indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 190, p. 96–106, 2017.
- ZHANG, Lilin *et al.* Assessing the remotely sensed evaporative drought index for drought

monitoring over Northeast China. **Remote Sensing**, v. 11, n. 17, 2019.

ZHANG, X. Q.; YAMAGUCHI, Y. Characterization and evaluation of MODIS derived Drought Severity Index (DSI) for monitoring the 2009/2010 drought over southwestern China. **Natural Hazards**, v. 74, n. 3, p. 2129–2145, 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Código do programa R para a realização das do teste de Cox - Stuart

```
# Tipo de algoritmo: Teste de Cox-Stuart
# Data de elaboração: 03/04/2020
cox.stuart.test =
  function (x)
  {
    method = "Teste de Cox-Stuart para analise de
sazonalidade"
    leng = length(x)
    apross = round(leng) %% 2
    if (apross == 1) {
      delete = (length(x)+1)/2
      x= x[ -delete ]
    }
    half = length(x)/2
    x1 = x[1:half]
    x2 = x[(half+1):(length(x))]
    difference = x1-x2
    signs = sign(difference)
    signcorr = signs[signs != 0]
    pos = signs[signs>0]
    neg = signs[signs<0]
    if (length(pos) < length(neg)) {
      prop = pbinom(length(pos), length(signcorr), 0.5)
      names(prop) = "Increasing trend, p-value"
      rval <- list(method = method, statistic = prop)
      class(rval) = "htest"
      return(rval)
    }
    else {
      prop = pbinom(length(neg), length(signcorr), 0.5)
      names(prop) = "Decreasing trend, p-value"
      rval <- list(method = method, statistic = prop)
      class(rval) = "htest"
      return(rval)
    }
  }
}

## Aplicação do Teste para as variáveis de estudo
x<- read.csv("eviarima.csv", header=TRUE, sep = ';', dec=',')
cox.stuart.test(x$EVI) # Série transformada EVI apresenta
tendência positiva - Toma-se a série diff
cox.stuart.test(diff(x$EVI))# Série diferenciada EVI não
apresenta tendência

dlsxv <- diff(x$EVI)
ts.plot(dlsxv,ylab="diferença[log(EVI)]",xlab="Observações",
main = "Diferença da série transformada")
acf(dlsxv, main = "Função de autocorrelação")
```

```
w<- read.csv("ndviarima.csv", header=TRUE, sep = ';', dec=',')
cox.stuart.test(w$NDVI) # Série transformada NDVI apresenta
tendência positiva - Toma-se a série diff
cox.stuart.test(diff(w$NDVI))# Série diferenciada NDVI não
apresenta tendência

dlsyv <- diff(w$NDVI)
ts.plot(dlsyv,ylab="diferença[log(NDVI)]",xlab="Observações",
main = "Diferença da sérietransformada")
acf(dlsyv, main = "Função de autocorrelação")

pacf(dlsxv, main = "Função de autocorrelação parcial EVI")
pacf(dlsyv, main = "Função de autocorrelação parcial NDVI")
```

APÊNDICE B - Código do programa R para a realização das análises de correlação e regressão linear

```
# Tipo de algoritmo: Análise de regressão múltipla
# Data de elaboração: 04/01/2020
tabela_dados <- read.csv("dados.txt", header=TRUE, sep = ';',
dec='.')
head(tabela_dados)
par(family="serif",cex.lab=1, cex.axis=1)
pairs(tabela_dados, col = 2, pch = 19)
heatmap(abs(cor(tabela_dados)))
cor(tabela_dados)
cor(tabela_dados[, 2:4])
library(ISwR)
attach(tabela_dados)
names(tabela_dados)
summary(tabela_dados)
lm(i..NDVI/EVI~EVAP+PREC+TEMP_AR)
boxplot(tabela_dados)
summary(lm(i..NDVI/EVI~EVAP+PREC+TEMP_AR))
confint(lm(i..NDVI/EVI~EVAP+PREC+TEMP_AR))
anova(lm(i..NDVI/EVI~EVAP+PREC+TEMP_AR))
step(lm(i..NDVI/EVI~EVAP+PREC+TEMP_AR),direction = 'both',
scale=0.1529^2)
lm(i..NDVI/EVI~EVAP+PREC+TEMP_AR)
summary(lm(i..NDVI/EVI~EVAP+PREC+TEMP_AR))
confint(lm(i..NDVI/EVI~EVAP+PREC+TEMP_AR))
par(family="serif",mfrow = c(2,2))
plot (lm(i..NDVI/EVI~EVAP+PREC+TEMP_AR), which = c(1:4), pch =
20)
plot (lm(i..NDVI/EVI~EVAP+PREC+TEMP_AR), which = 5)
anova(lm(i..NDVI/EVI~EVAP+PREC+TEMP_AR))
```

APÊNDICE C - Exemplo de código utilizado para baixar as imagens TRMM na plataforma do Google Earth Engine

```
//Script: Seleção de dados TRMM para análise de pluviosidade
da dissertação

//Área de abrangência do script: Minas Gerais

//Data de elaboração: 15/05/2020


//Passo 1: importar o shape da região de estudo que será usado
para cortar as imagens TRMM

//OBS: use o espaço Assets para incluir o arquivo .zip do
vetor a ser utilizado no script

//OBS: Para importar é só clicar no arquivo desejado e na
opção da seta (que é responsável por importar o vetor para o
script)

Map.addLayer (table, {}, 'mg', true);

//Adiciona o vetor para o universo do Google Earth Engine


//Passo 2: Deixar o Google Earth centrado na região desejada
Map.centerObject(table);


//Passo 3: Importar os dados do TRMM/3B43V7 para a plataforma
do Engine

var trmm1 = ee.ImageCollection('TRMM/3B43V7')
    .filterDate('2018-01-01', '2018-01-31')
    .sum();

var trmm2 = ee.ImageCollection('TRMM/3B43V7')
    .filterDate('2018-02-01', '2018-02-28')
    .sum();

var trmm3 = ee.ImageCollection('TRMM/3B43V7')
    .filterDate('2018-03-01', '2018-03-31')
    .sum();

var trmm4 = ee.ImageCollection('TRMM/3B43V7')
    .filterDate('2018-04-01', '2018-04-30')
    .sum();

var trmm5 = ee.ImageCollection('TRMM/3B43V7')
```

```

        .filterDate('2018-05-01', '2018-05-31')
        .sum();
var trmm6 = ee.ImageCollection('TRMM/3B43V7')
    .filterDate('2018-06-01', '2018-06-30')
    .sum();
var trmm7 = ee.ImageCollection('TRMM/3B43V7')
    .filterDate('2018-07-01', '2018-07-31')
    .sum();
var trmm8 = ee.ImageCollection('TRMM/3B43V7')
    .filterDate('2018-08-01', '2018-08-31')
    .sum();
var trmm9 = ee.ImageCollection('TRMM/3B43V7')
    .filterDate('2018-09-01', '2018-09-30')
    .sum();
var trmm10 = ee.ImageCollection('TRMM/3B43V7')
    .filterDate('2018-10-01', '2018-10-31')
    .sum();
var trmm11 = ee.ImageCollection('TRMM/3B43V7')
    .filterDate('2018-11-01', '2018-11-30')
    .sum();
var trmm12 = ee.ImageCollection('TRMM/3B43V7')
    .filterDate('2018-12-01', '2018-12-31')
    .sum();

//Passo 4: Cortar as imagens TRMM para toda a extensão do
estado de Minas Gerais
var clip1 = trmm1.clipToCollection (table);
    Map.addLayer(clip1,{bands:'precipitation', min:0.1241 ,
max:0.3402}, 'jan2018', 1);
var clip2 = trmm2.clipToCollection (table);
    Map.addLayer(clip2,{bands:'precipitation', min:0.2394 ,
max:0.4498}, 'fev2018', 1);
var clip3 = trmm3.clipToCollection (table);

```

```

    Map.addLayer(clip3,{bands:'precipitation', min:0.1295 ,
max:0.2611}, 'mar2018', 1);
var clip4 = trmm4.clipToCollection (table);
    Map.addLayer(clip4,{bands:'precipitation', min:0.0444 ,
max:0.1565}, 'abr2018', 1);
var clip5 = trmm5.clipToCollection (table);
    Map.addLayer(clip5,{bands:'precipitation', min:0.0092 ,
max:0.0459}, 'mai2018', 1);
var clip6 = trmm6.clipToCollection (table);
    Map.addLayer(clip6,{bands:'precipitation', min:-0.0039 ,
max:0.0293}, 'jun2018', 1);
var clip7 = trmm7.clipToCollection (table);
    Map.addLayer(clip7,{bands:'precipitation', min:-0.0040 ,
max:0.0131}, 'jul2018', 1);
var clip8 = trmm8.clipToCollection (table);
    Map.addLayer(clip8,{bands:'precipitation', min:0.0102 ,
max:0.0623}, 'ago2018', 1);
var clip9 = trmm9.clipToCollection (table);
    Map.addLayer(clip9,{bands:'precipitation', min:0.0135 ,
max:0.0996}, 'set2018', 1);
var clip10 = trmm10.clipToCollection (table);
    Map.addLayer(clip10,{bands:'precipitation', min:0.1175 ,
max:0.2548}, 'out2018', 1);
var clip11 = trmm11.clipToCollection (table);
    Map.addLayer(clip11,{bands:'precipitation', min:0.2255 ,
max:0.4405}, 'nov2018', 1);
var clip12 = trmm12.clipToCollection (table);
    Map.addLayer(clip12,{bands:'precipitation', min:0.2316 ,
max:0.3471}, 'dez2018', 1);

//Passo 5: Exportar os dados para o Google Drive
ee.PixelType.float();
var jan = clip1.toFloat ();
Export.image.toDrive({
    image: jan,
    description: 'jan2018',

```

```

    region: table,
    scale: 1000,
    folder: 'TRMM',
    maxPixels:1000000000000000,
  });

```

```

var fev = clip2.toFloat ();
Export.image.toDrive({
  image: fev,
  description: 'fev2018',
  region: table,
  scale: 1000,
  folder: 'TRMM',
  maxPixels:1000000000000000,
});

```

```

var mar = clip3.toFloat ();
Export.image.toDrive({
  image: mar,
  description: 'mar2018',
  region: table,
  scale: 1000,
  folder: 'TRMM',
  maxPixels:1000000000000000,
});

```

```

var abr = clip4.toFloat ();
Export.image.toDrive({
  image: abr,
  description: 'abr2018',
  region: table,
  scale: 1000,

```

```

    folder: 'TRMM',
    maxPixels:100000000000000,
  });

```

```

var mai = clip5.toFloat ();
Export.image.toDrive({
  image: mai,
  description: 'mai2018',
  region: table,
  scale: 1000,
  folder: 'TRMM',
  maxPixels:100000000000000,
});

```

```

var jun = clip6.toFloat ();
Export.image.toDrive({
  image: jun,
  description: 'jun2018',
  region: table,
  scale: 1000,
  folder: 'TRMM',
  maxPixels:100000000000000,
});

```

```

var jul = clip7.toFloat ();
Export.image.toDrive({
  image: jul,
  description: 'jul2018',
  region: table,
  scale: 1000,
  folder: 'TRMM',
  maxPixels:100000000000000,
});

```



```
});
```

```
var ago = clip8.toFloat ();
```

```
Export.image.toDrive({
  image: ago,
  description: 'ago2018',
  region: table,
  scale: 1000,
  folder: 'TRMM',
  maxPixels:1000000000000000,
});
```

```
var setb = clip9.toFloat ();
```

```
Export.image.toDrive({
  image: setb,
  description: 'set2018',
  region: table,
  scale: 1000,
  folder: 'TRMM',
  maxPixels:1000000000000000,
});
```

```
var out = clip10.toFloat ();
```

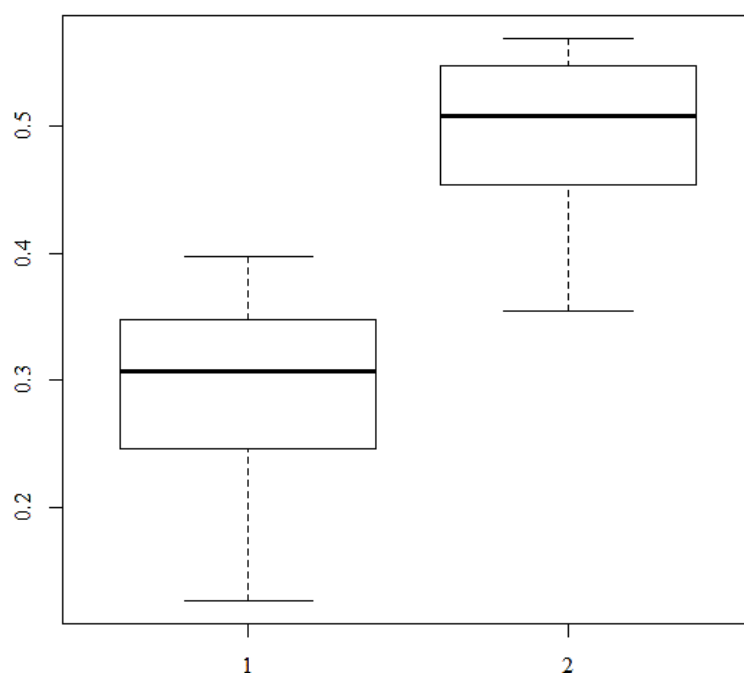
```
Export.image.toDrive({
  image: out,
  description: 'out2018',
  region: table,
  scale: 1000,
  folder: 'TRMM',
  maxPixels:1000000000000000,
});
```

```
var nov = clip11.toFloat ();  
Export.image.toDrive({  
  image: nov,  
  description: 'nov2018',  
  region: table,  
  scale: 1000,  
  folder: 'TRMM',  
  maxPixels:1000000000000000,  
});
```

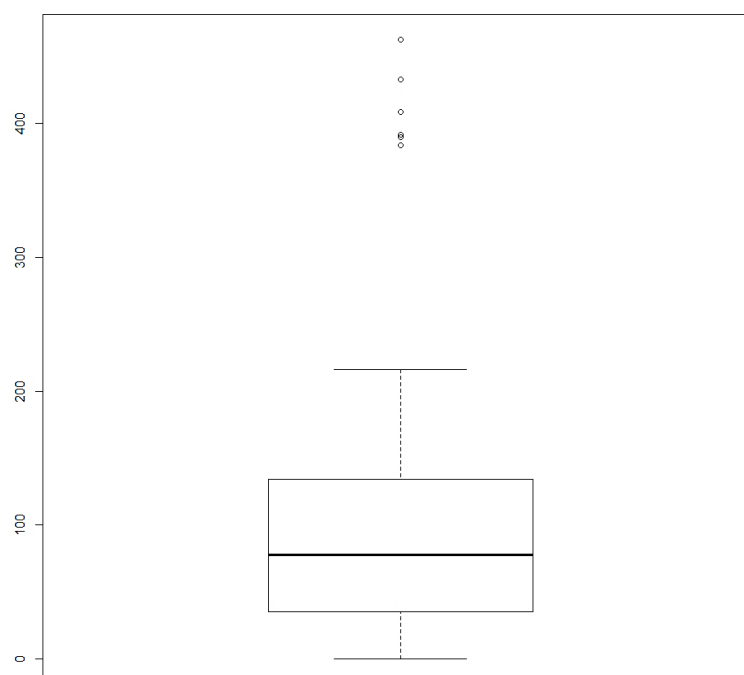
```
var dez = clip12.toFloat ();  
Export.image.toDrive({  
  image: dez,  
  description: 'dez2018',  
  region: table,  
  scale: 1000,  
  folder: 'TRMM',  
  maxPixels:1000000000000000,  
});
```

APÊNDICE D - Resultados das análises de estatística descritiva referentes à comparação dos índices de vegetação (NDVI e EVI) com as variáveis das estações meteorológicas

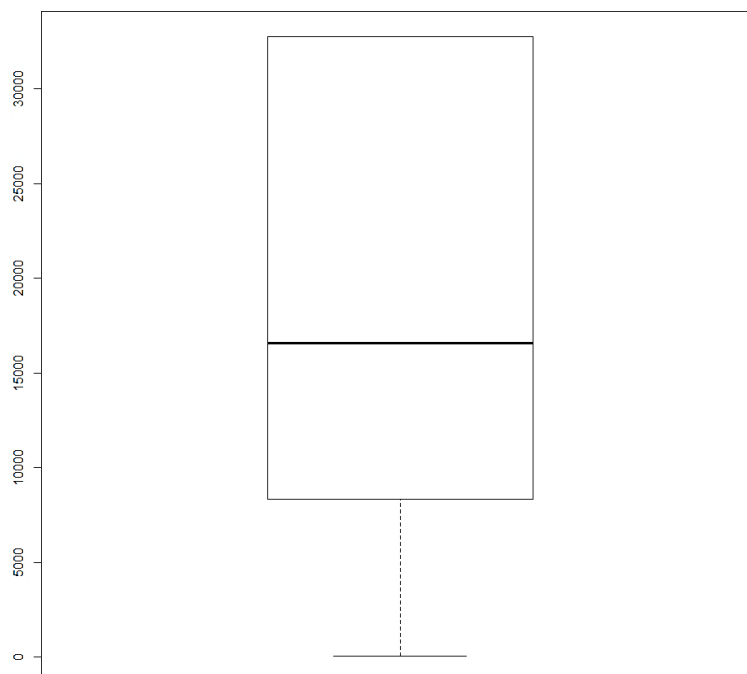
Boxplot relativo aos dados de NDVI (2) e EVI (1) analisados de acordo com a localização das bases meteorológicas do INMET e da Hidroweb – ANA ao longo do período de estudo da série temporal



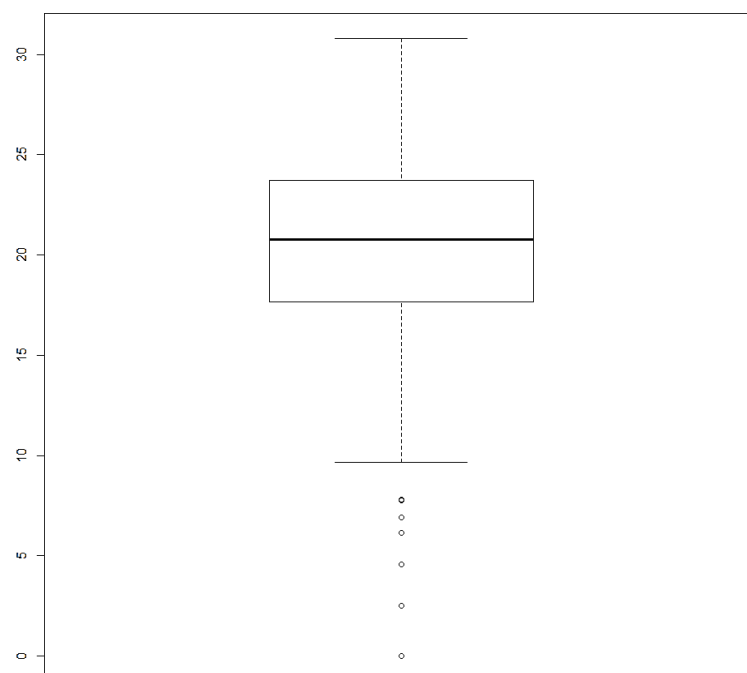
Boxplot relativo aos dados de precipitação analisados de acordo com a localização das bases meteorológicas do INMET e da Hidroweb – ANA ao longo do período de estudo da série temporal



Boxplot relativo aos dados de evapotranspiração analisados de acordo com a localização das bases meteorológicas do INMET e da Hidroweb – ANA ao longo do período de estudo da série temporal

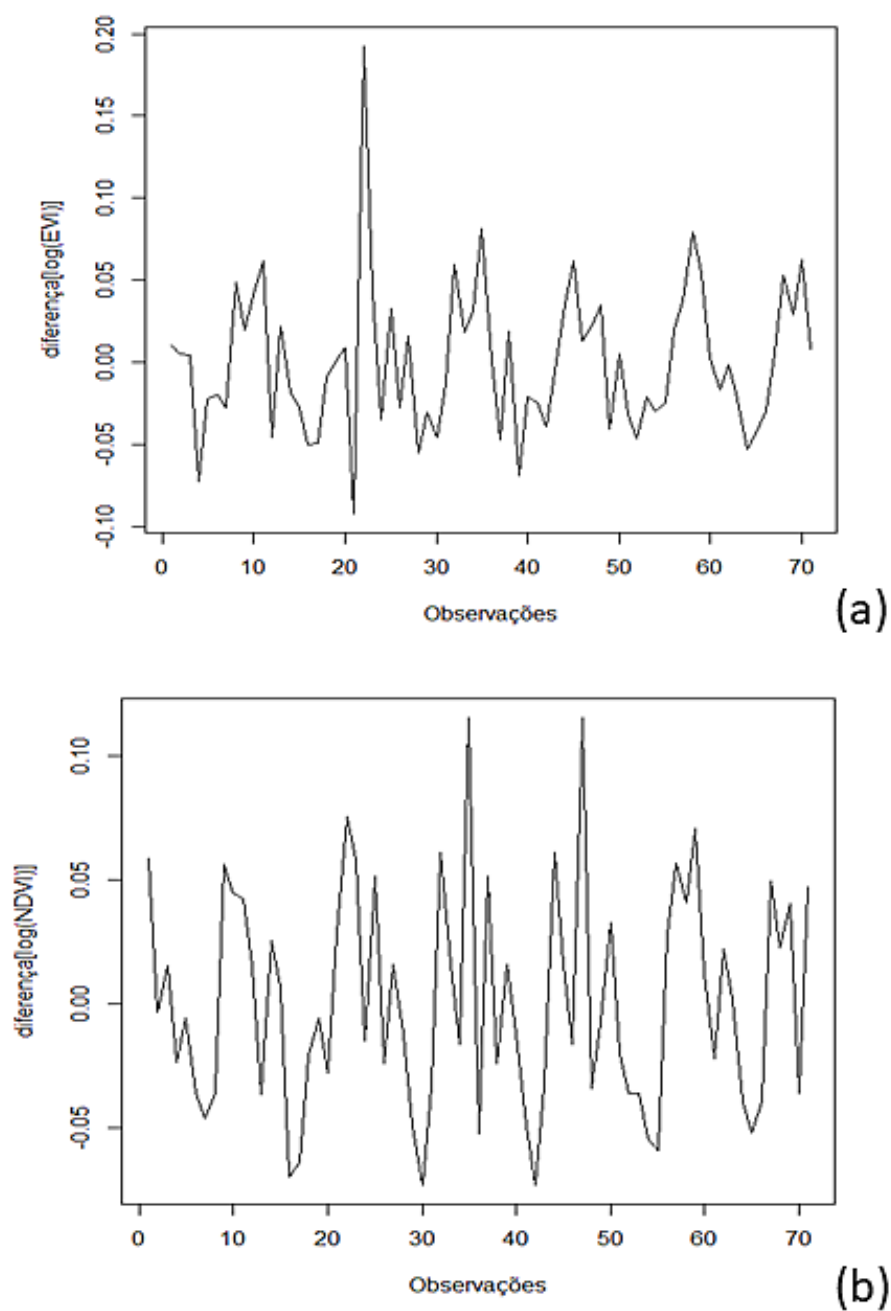


Boxplot relativo aos dados de temperatura do ar analisados de acordo com a localização das bases meteorológicas do INMET e da Hidroweb – ANA ao longo do período de estudo da série temporal

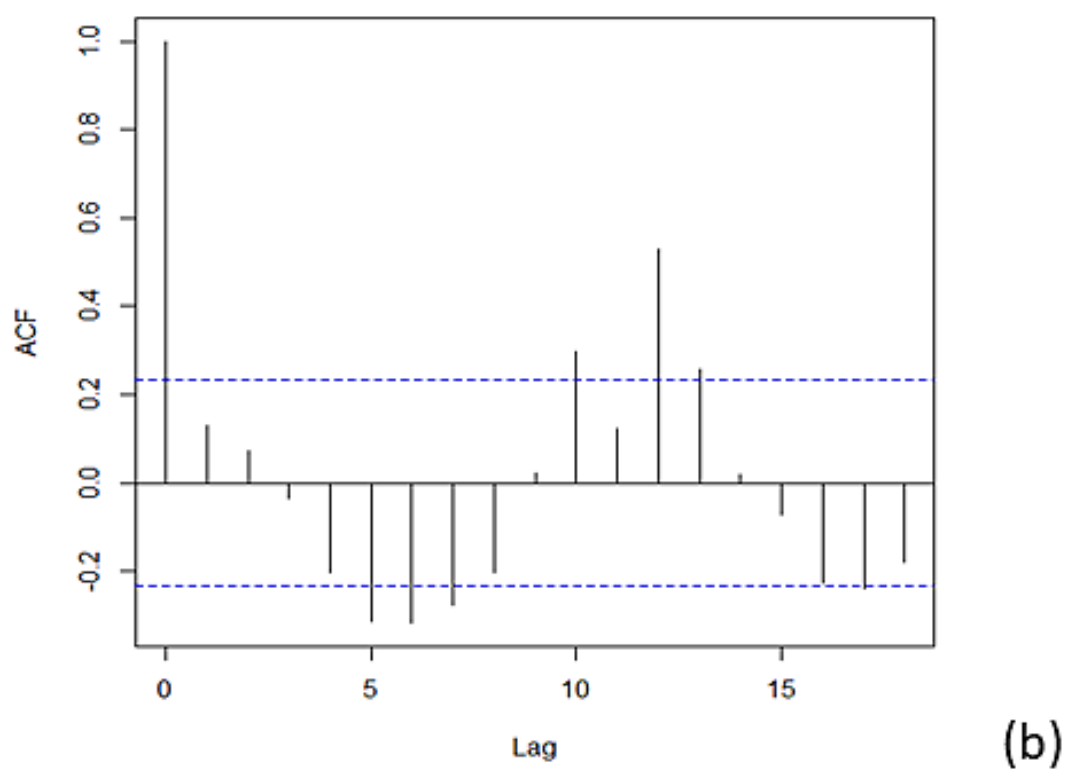
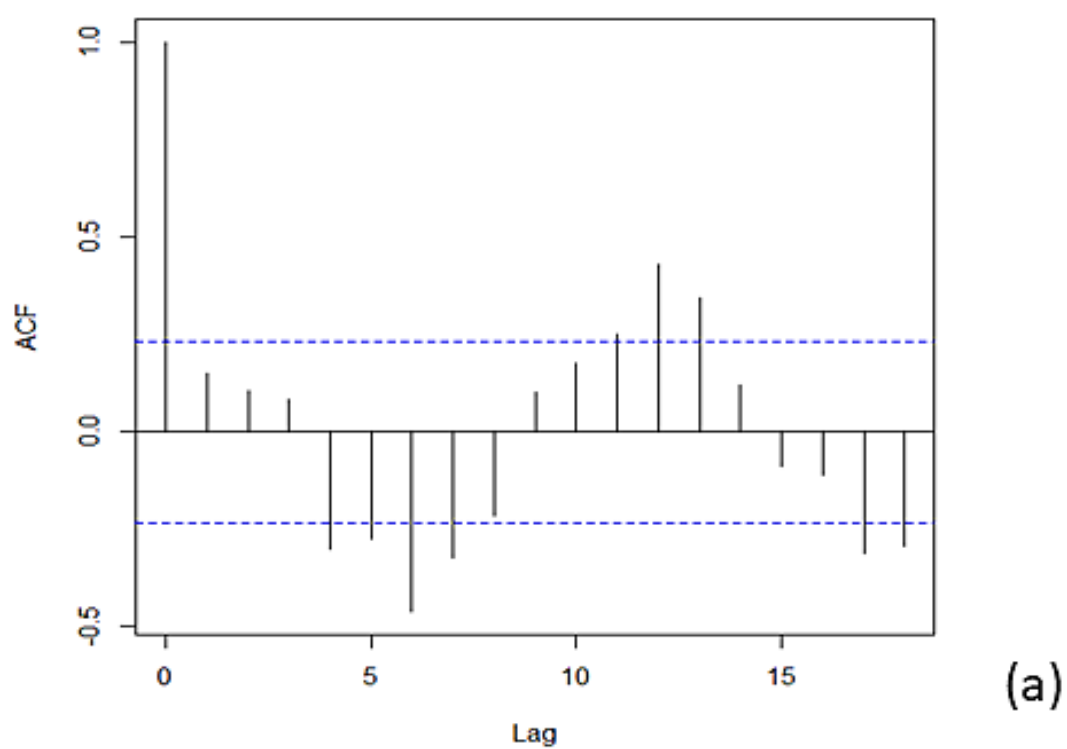


APÊNDICE E - Análise do Teste de Cox-Stuart

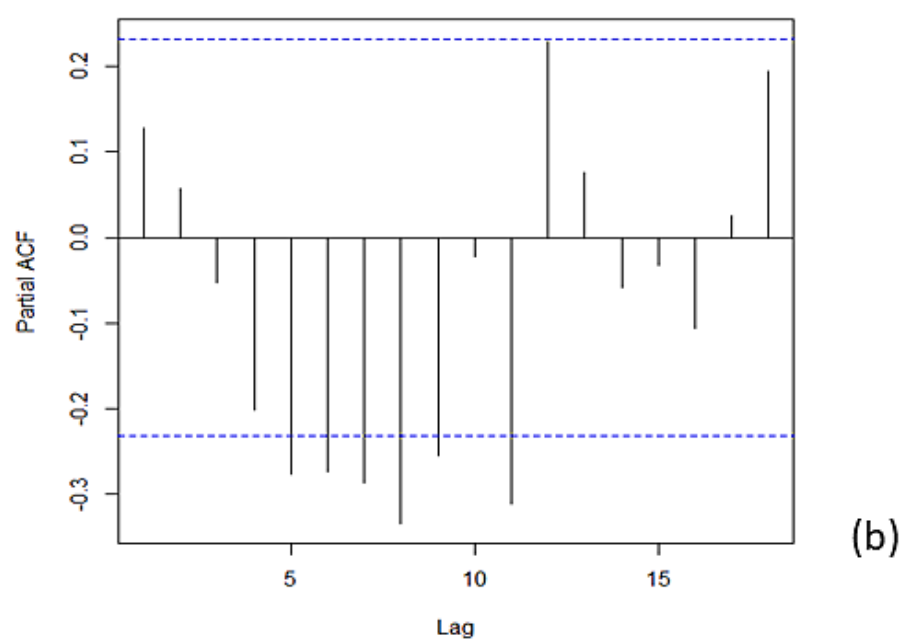
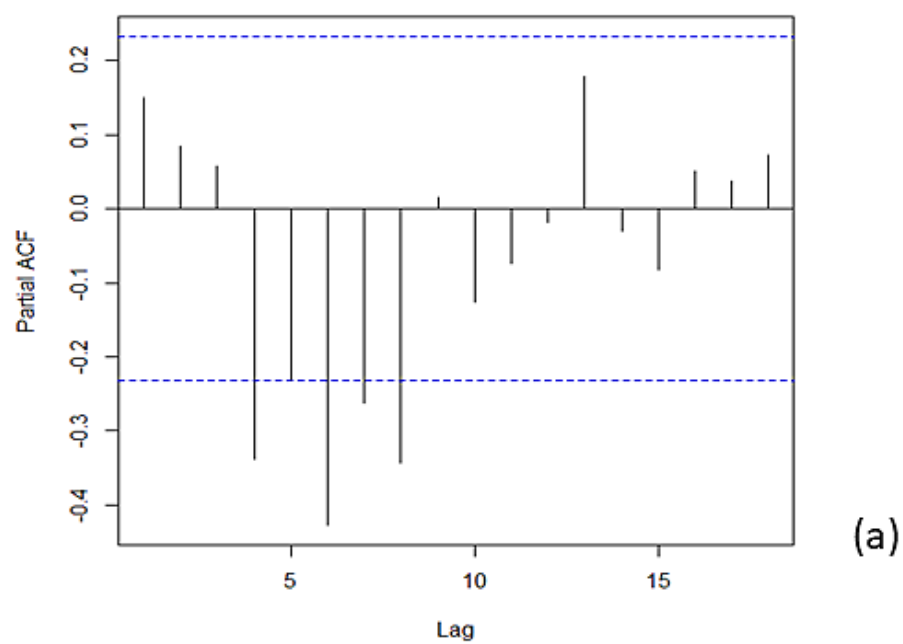
Diferença da série transformada do teste de Cox-Stuart, (a) EVI e (b) NDVI



Função de autocorrelação do Teste de Cox-Stuart, (a) EVI e (b) NDVI



Função de autocorrelação parcial do Teste de Cox-Stuart, (a) EVI e (b) NDVI



Resultado das análises do teste de Cox-Stuart realizado no programa RStudio

```
> x<- read.csv("eviarima.csv", header=TRUE, sep = ';',
dec=',')

> cox.stuart.test(x$EVI) # Série transformada EVI apresenta
tendência positiva - Toma-se a série diff

      Cox-Stuart test for trend analysis

data:
Decreasing trend, p-value = 0.5

> cox.stuart.test(diff(x$EVI))# Série diferenciada EVI não
apresenta tendência

      Cox-Stuart test for trend analysis

data:
Increasing trend, p-value = 0.5

> dlsxv <- diff(x$EVI)

> w<- read.csv("ndviarima.csv", header=TRUE, sep = ';',
dec=',')

> cox.stuart.test(w$NDVI) # Série transformada NDVI apresenta
tendência positiva - Toma-se a série diff

      Cox-Stuart test for trend analysis

data:
Increasing trend, p-value = 0.014408

> cox.stuart.test(diff(w$NDVI))# Série diferenciada NDVI
apresenta tendência

      Cox-Stuart test for trend analysis

data:
Decreasing trend, p-value = 0.5
```


APÊNDICE F - Resultados da correlação de Pearson referentes à comparação dos índices de vegetação (NDVI e EVI) com as variáveis das estações meteorológicas

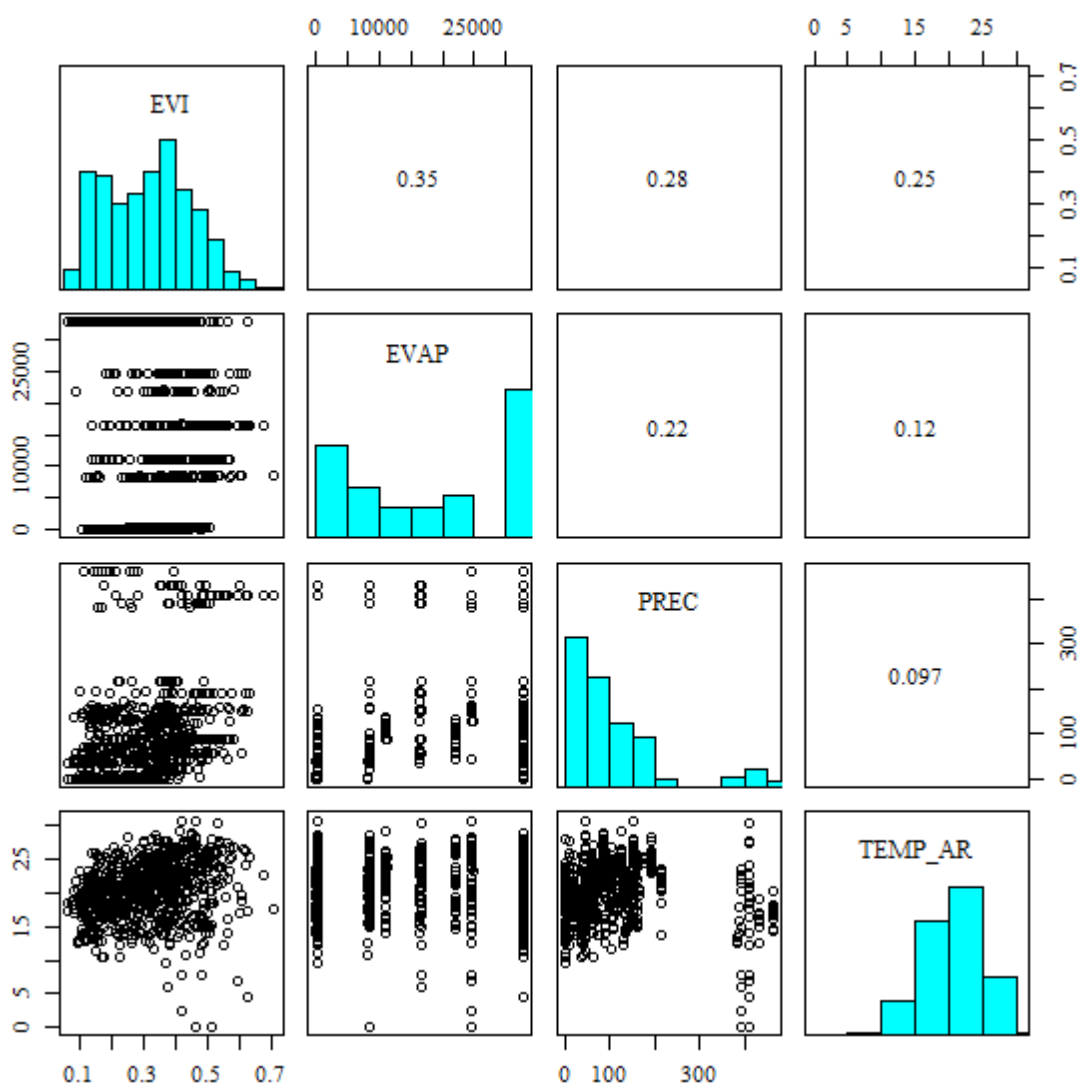
```
> cor(tabela_dados)
```

	i..NDVI	EVAP	PREC	TEMP_AR
i..NDVI	1.0000000	-0.5157270	0.10562470	0.22901217
EVAP	-0.5157270	1.0000000	0.21732507	-0.12000213
PREC	0.1056247	0.2173251	1.00000000	-0.09734138
TEMP_AR	0.2290122	-0.1200021	-0.09734138	1.00000000

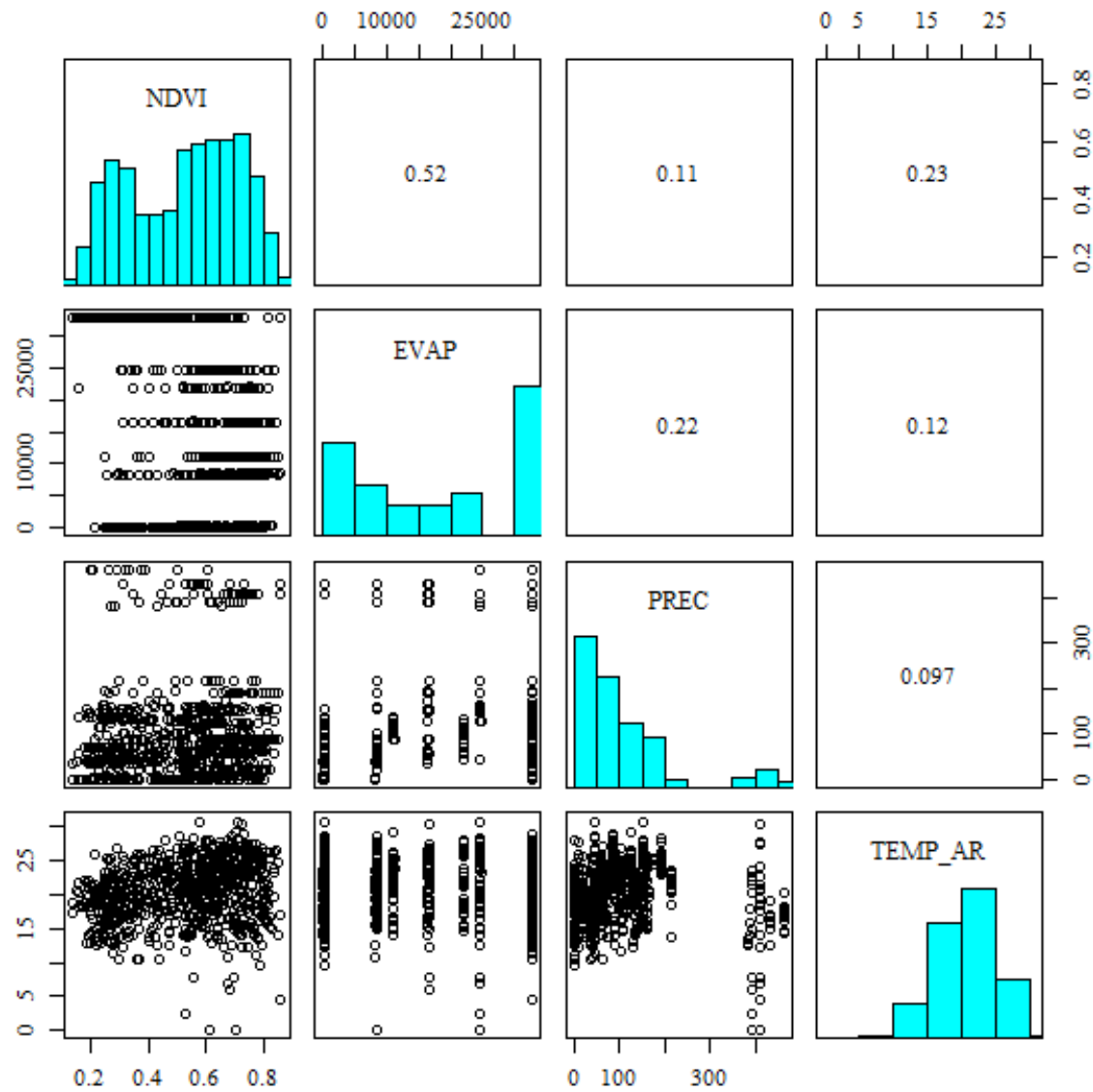
```
> cor(tabela_dados)
```

	EVI	EVAP	PREC	TEMP_AR
EVI	1.0000000	-0.3479565	0.28363231	0.24786332
EVAP	-0.3479565	1.0000000	0.21732507	-0.12000213
PREC	0.2836323	0.2173251	1.00000000	-0.09734138
TEMP_AR	0.2478633	-0.1200021	-0.09734138	1.00000000

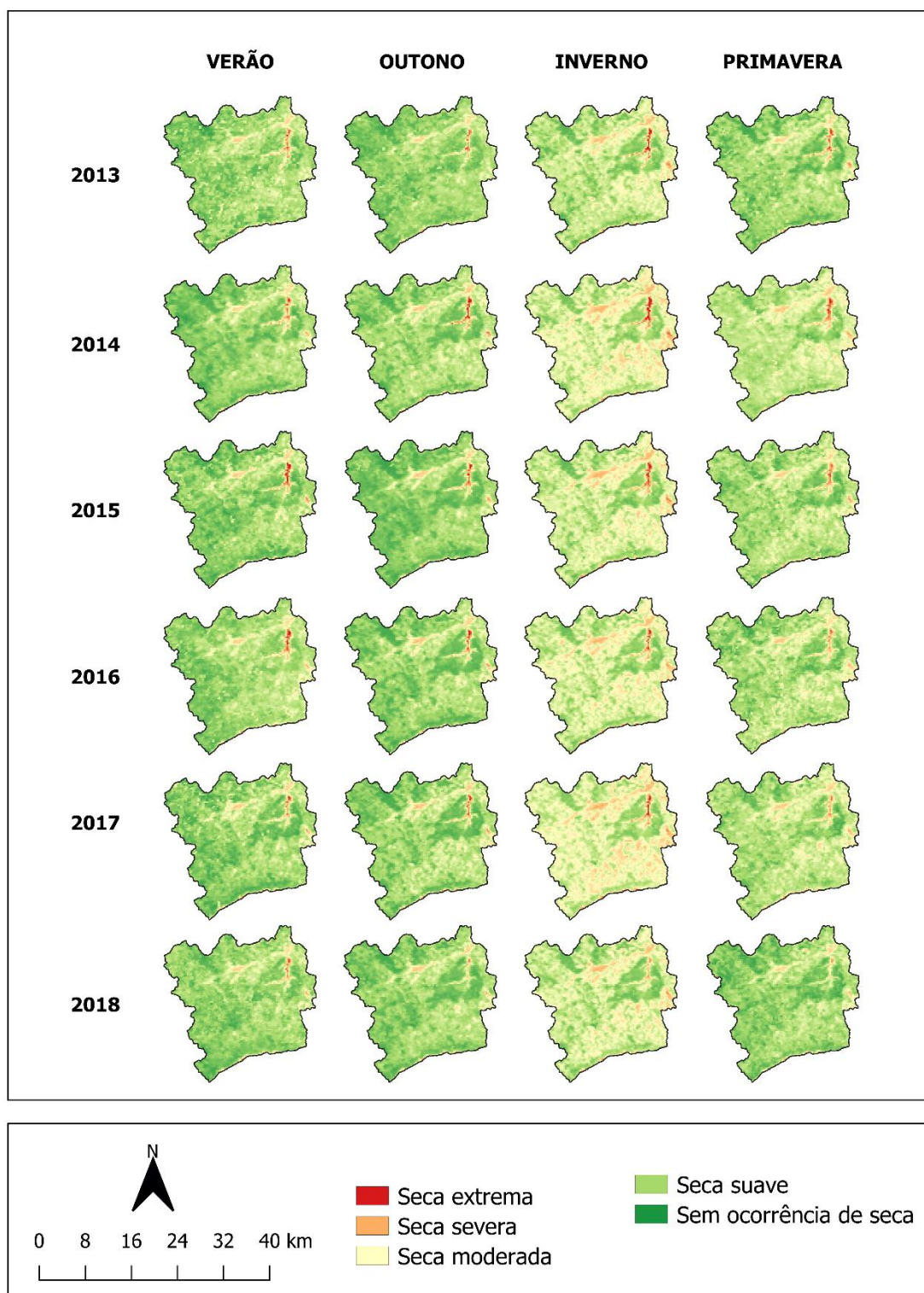
- Correlação entre EVI e as variáveis meteorológicas



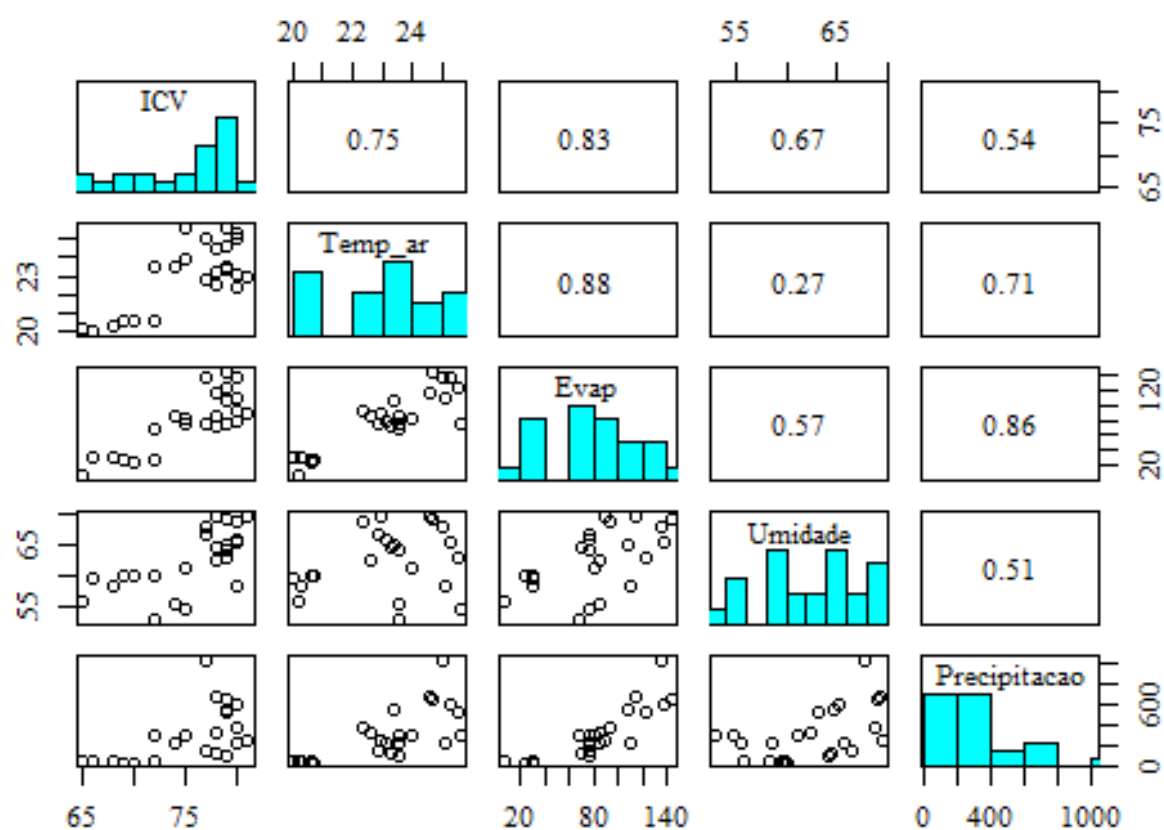
- Correlação entre NDVI e as variáveis meteorológicas



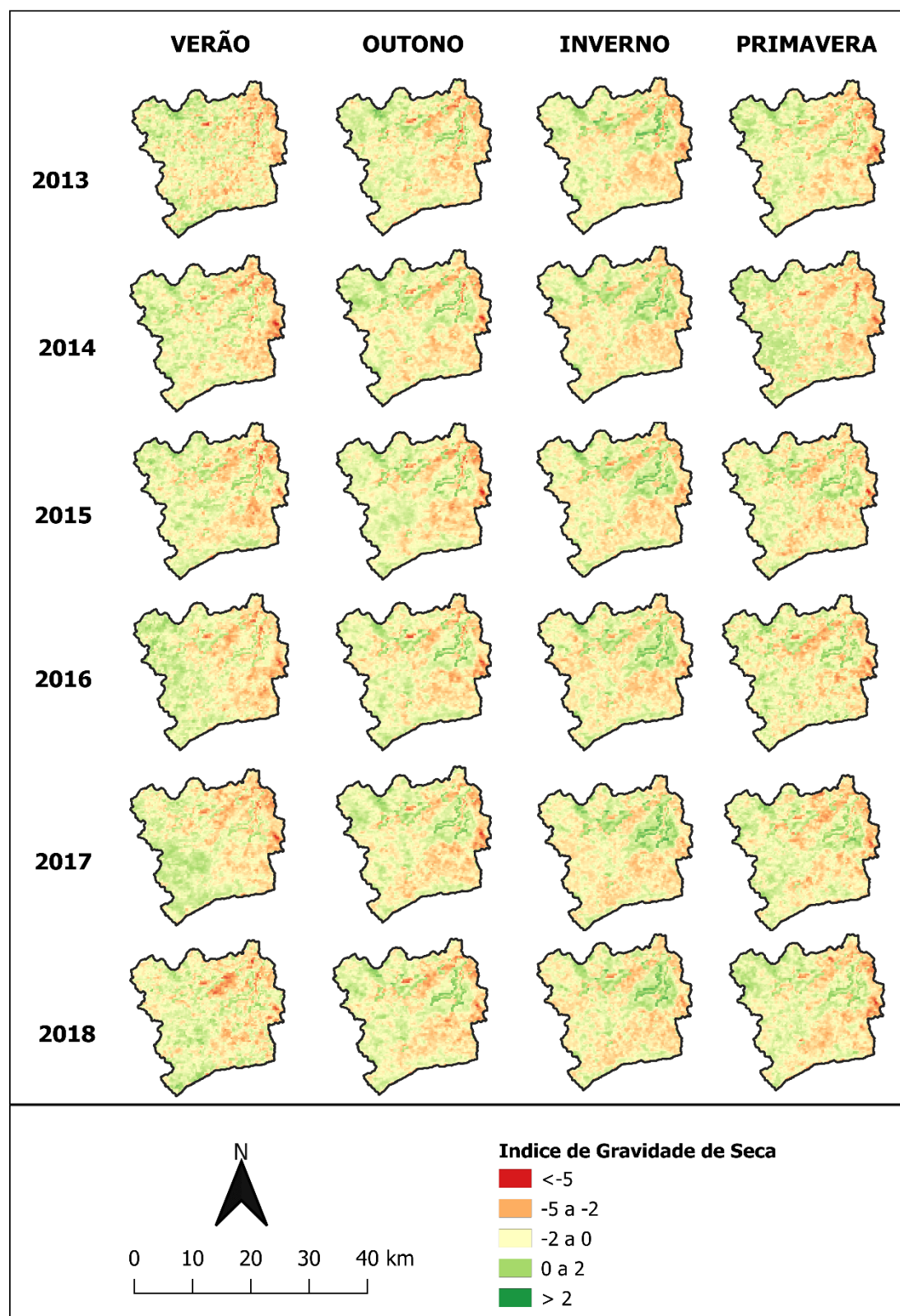
APÊNDICE G Índice de Condição da Vegetação por estação do ano, calculado com o NDVI do produto MOD13Q11 do sensor MODIS para o período de 2013 a 2018



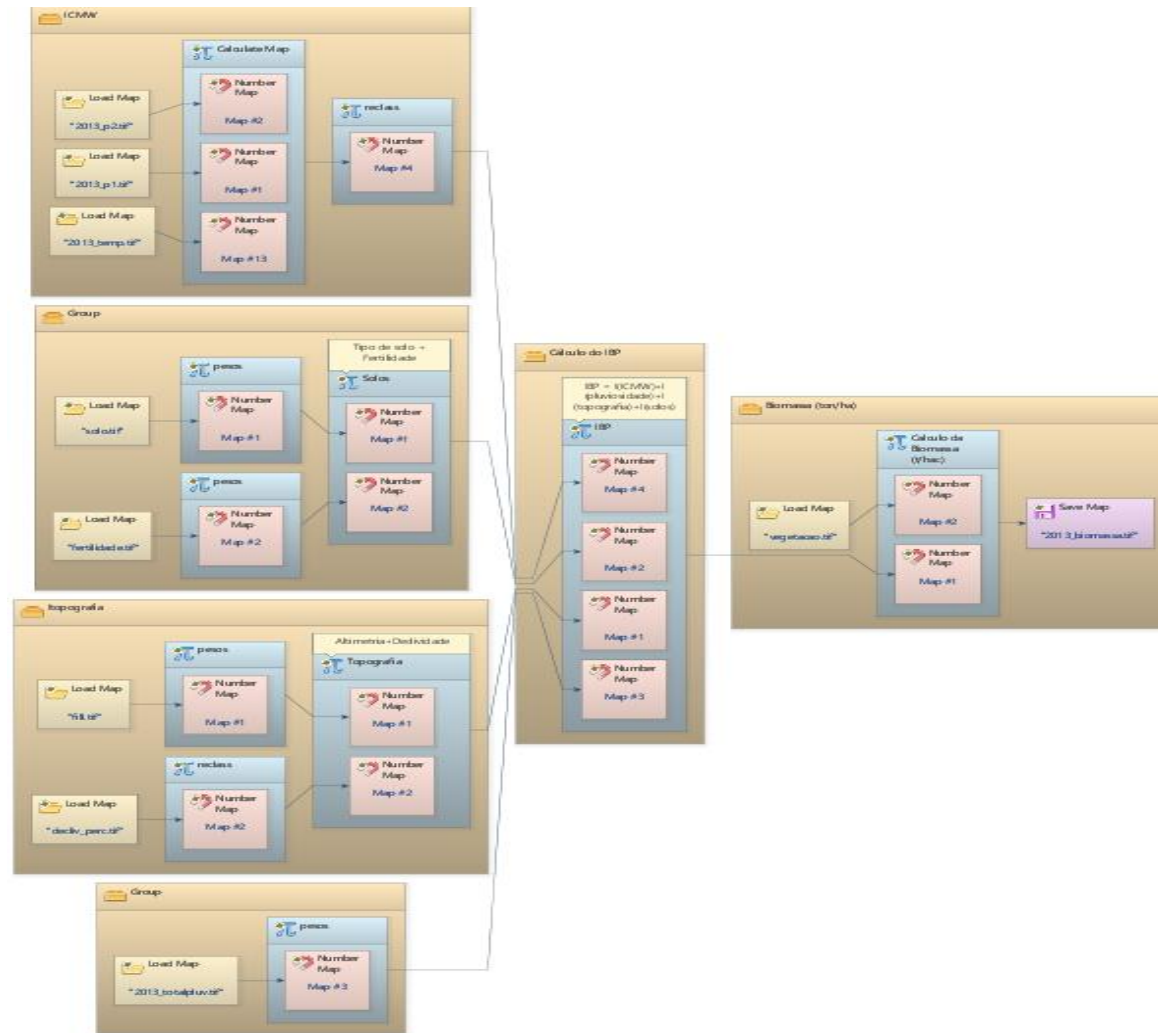
APÊNDICE H - Correlação entre o ICV e as variáveis meteorológicas



APÊNDICE I - Índice de Gravidade da Seca por estação do ano, calculado com o NDVI do produto MOD13Q11 do sensor MODIS para o período de 2013 a 2018

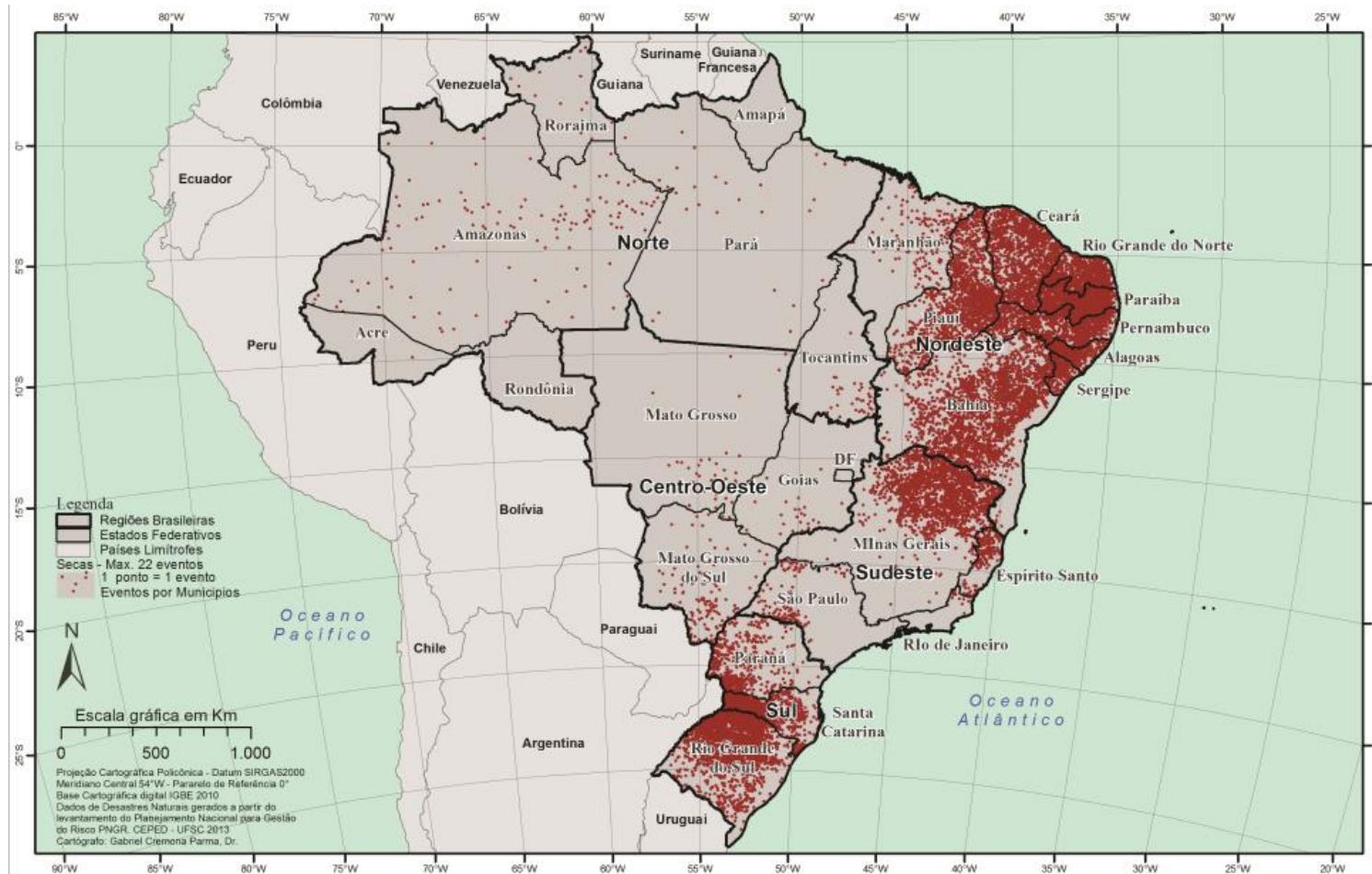


APÊNDICE J - Modelo de execução do Índice Potencial de Biomassa (IPB) estabelecida por Martins et al. (2009) e criado por (IVERSON, 1994) elaborado no software DINAMICA EGO



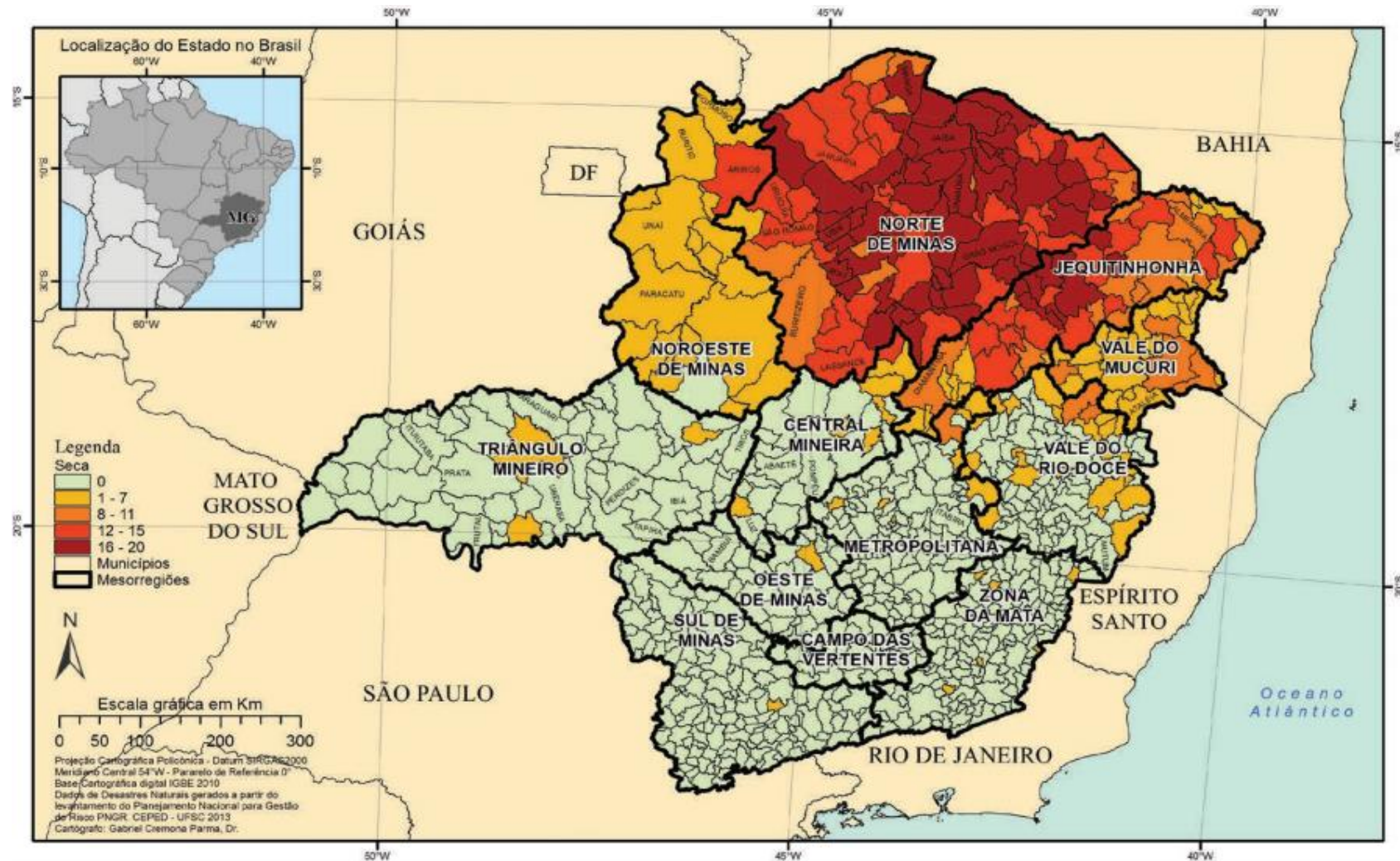
ANEXOS

ANEXO A - Registros de estiagem e seca no Brasil de 1991 a 2012



Fonte: UFSC, (2013a)

ANEXO B- Registros de estiagem e seca no estado de Minas Gerais de 1991 a 2012



Fonte: UFSC, (2013b)

ANEXO C - Resumo dos boletins mensais do território brasileiro, com ênfase na região sudeste do Brasil, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para os anos de 2013 a 2018

Fonte: INFOCLIMA (2020)

Ano	Mês	INFOCLIMA	Chuva	Temperatura
2013	Janeiro	Dezembro foi um mês seco e quente na maior parte do setor central do Brasil. As regiões de convergência de umidade somente se configuraram em alguns dias e, mesmo causando alagamentos em várias cidades do Sudeste e Centro-Oeste, foram insuficientes para exceder a climatologia mensal de precipitação na grande área central do Brasil. Em contrapartida, excessos de chuva foram observados em áreas das Regiões Norte e Sul do Brasil.	Comportamento climatológico, com igual probabilidade para as três categorias	Variando entre as faixas normal e acima da normal climatológica em toda a Região.
2013	Fevereiro	A ocorrência de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) contribuiu para o excesso de chuva em grande parte do setor central do Brasil no decorrer do mês de janeiro. Os maiores acumulados mensais de precipitação ocorreram no sudoeste do Amazonas, oeste do Pará, no leste do Mato Grosso, sudeste de Minas Gerais e entre o Rio de Janeiro e São Paulo. As chuvas foram mais escassas em Roraima, norte do Amazonas e no centro-norte da Região Nordeste. Na Região Sul, a atuação de um escoamento anômalo na alta troposfera inibiu a ocorrência de chuvas, especialmente durante a segunda quinzena.	Comportamento climatológico, com igual probabilidade para as três categorias.	Em torno da normal climatológica
2013	Março	A atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ao norte de sua posição climatológica contribuiu para as chuvas abaixo da média entre o nordeste do Pará e o norte da Região Nordeste no decorrer do mês de fevereiro e início de março de 2013. O posicionamento anômalo da ZCIT vem ocorrendo em resposta ao aquecimento das águas superficiais na região tropical do Atlântico Norte e poderá comprometer o final do período chuvoso no norte da Região Nordeste. Outra razão que explicou a escassez de chuva em grande parte das Regiões Norte, Nordeste e Sudeste do Brasil foi o	Comportamento climatológico, com igual probabilidade para as três categorias.	Em torno da normal climatológica. No decorrer deste trimestre, podem ocorrer incursões mais intensas de massas de ar frio.

		deslocamento anômalo para oeste do escoamento em altos níveis entre os meses de janeiro e fevereiro passados.		
2013	Abril	A manutenção de águas superficiais mais aquecidas no Atlântico Tropical Norte deverá favorecer a permanência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ao norte de sua posição climatológica, podendo indicar o término antecipado do principal período chuvoso para o norte da Região Nordeste. Na região do Pacífico Tropical, as condições ainda são de neutralidade em relação ao desenvolvimento do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Por outro lado, sinais de variabilidade intrassazonal permanecem bem marcados nos oceanos Índico e Pacífico e poderão continuar interferindo na ocorrência de chuvas sobre as Regiões Nordeste e Sudeste do Brasil no decorrer deste próximo trimestre.	Comportamento climatológico, com igual probabilidade para as três categorias	Em torno da normal climatológica. No decorrer deste trimestre, podem ocorrer incursões mais intensas de massas de ar frio.
2013	Maio	A condição de ligeiro aquecimento das águas superficiais do Atlântico Sul, aliada ao escoamento dos ventos de leste, sugere a tendência de estabelecimento do padrão climatológico das chuvas para a faixa leste da Região Nordeste. Além disso, a persistência de condições de neutralidade em relação ao desenvolvimento do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) nas áreas equatoriais e tropicais do Oceano Pacífico e as oscilações intrassazonais ainda poderão contribuir no sentido de inibir ou acentuar a ocorrência de chuvas, especialmente sobre o leste da Região Nordeste, no decorrer deste próximo trimestre.	Comportamento climatológico, com igual probabilidade para as três categorias	Em torno da normal climatológica, com possíveis incursões de massas de ar frio mais intensas no decorrer deste trimestre.
2013	Junho	A manutenção do aquecimento das águas superficiais do Atlântico Tropical Norte sugere um possível deslocamento para norte da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Com isso, esperam-se condições climatológicas da atividade convectiva no extremo norte da América do Sul, o estabelecimento de uma região de subsidência e consequente déficit de precipitação na porção central da Região Norte do Brasil. Os modelos de previsão climática indicam a continuidade da fase neutra do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) no Pacífico Equatorial durante os próximos três meses. A	Comportamento climatológico, com igual probabilidade para as três categorias	Em torno da normal climatológica, com possíveis incursões de massas de ar frio mais intensas no decorrer deste trimestre.

		manifestação de oscilações intrassazonais poderão ocasionar excesso ou déficit de precipitação, especialmente sobre o leste do Nordeste, principalmente no mês de julho		
2013	Julho	Desde o mês de maio, houve retração do resfriamento das águas do Pacífico equatorial leste, enquanto que em camadas mais profundas destaca-se a expansão de águas quentes na região central da bacia vindas do setor oeste, indicando a propagação de ondas de Kelvin oceânica para leste. Para os próximos meses, os modelos de previsão climática apontam para a possibilidade de aquecimento das águas superficiais da faixa equatorial do Pacífico, inclusive no setor leste, mas a perspectiva ainda é de continuidade de condições neutras do fenômeno ENOS (ausência da atuação dos fenômenos climáticos El Niño ou La Niña).	Abaixo da faixa normal no sudoeste e sul de São Paulo. Nas demais áreas, a previsão indica o comportamento climatológico, com igual probabilidade para as três categorias.	Variando entre a normal e acima da normal climatológica, com possíveis incursões de massas de ar frio mais intensas nos primeiros meses.
2013	Agosto	Julho foi marcado pelo aumento das chuvas nas Regiões Norte e Nordeste e diminuição na Região Sul do Brasil, em comparação com junho passado. No início deste mês, a formação de aglomerados de nuvens convectivas contribuiu para o excesso de chuva ao longo da faixa leste da Região Nordeste, que ainda se encontra no seu período mais chuvoso, em particular entre o Rio Grande do Norte e Alagoas, causando alagamentos em várias cidades litorâneas. Outro destaque foi a incursão de uma intensa massa de ar frio durante a segunda quinzena de julho, com acentuado declínio das temperaturas e ocorrência de neve em cidades serranas da Região Sul.	Abaixo da faixa normal no centro-sul de São Paulo. Nas demais áreas, a previsão indica o comportamento climatológico, com igual probabilidade para as três categorias	Variando entre a normal e acima da normal climatológica, com possíveis incursões de massas de ar frio mais intensas no início deste próximo trimestre.
2013	Setembro	A atuação conjunta de sistemas frontais e de perturbações na média e alta troposfera, aliada à presença de águas anormalmente aquecidas adjacente à costa sul do Brasil, favoreceu o excesso de chuva principalmente no nordeste do Rio Grande do Sul e nos setores central e sudeste de Santa Catarina, durante o mês de agosto de 2013. As chuvas foram mais escassas no Paraná e no extremo sudoeste do Rio Grande do Sul. As chuvas também excederam a média histórica no norte da Região Norte e ao longo da faixa leste da Região Nordeste, que se encontra no final de seu período	Comportamento climatológico, com igual probabilidade para as três categorias	Variando entre a normal e acima da normal climatológica.

		climatologicamente mais chuvoso. Na Região Centro-Oeste e na maior parte das Regiões Sudeste e Nordeste do Brasil, as chuvas costumam ser escassas neste período do ano. As incursões de massas de ar frio causaram acentuado declínio das temperaturas no centro-sul e oeste do Brasil, especialmente no final de agosto.		
2013	Outubro	A distribuição de anomalias de precipitação ao longo dos últimos meses, sobre o norte e sul do Brasil, refletiu a fraca condição de La Niña que se estabeleceu no Oceano Pacífico Equatorial Leste. Por esta razão, choveu acima da média histórica em parte do setor norte da Região Norte e abaixo da média no setor central e oeste da Região Sul, em particular no oeste do Paraná e nos setores central e oeste do Rio Grande do Sul. Além disso, durante o trimestre julho agosto-setembro (JAS/2013), a persistência de chuvas acima da média sobre a região da Indonésia contribuiu para o estabelecimento de teleconexões atmosféricas que favoreceram a manutenção da circulação anômala sobre o Atlântico Sul. Como resultado, houve excesso de precipitação pluviométrica no leste do Nordeste e no leste da Região Sul, com ocorrência de temporais no nordeste do Rio Grande do Sul e no centro-leste de Santa Catarina, principalmente nos meses de agosto e setembro.	Maior probabilidade para a categoria dentro da normal climatológica especialmente na área central que engloba o norte de São Paulo, centro-sul de Minas Gerais e o Rio de Janeiro, onde ocorre a atuação climatológica da Zona de Convergência do Atlântico Sul no decorrer deste trimestre.	Variando entre a normal e acima da normal climatológica
2013	Novembro	Outubro é considerado um mês de transição entre as estações seca e chuvosa no setor central do Brasil. Neste último mês, com o estabelecimento da circulação típica dos meses de verão na América do Sul, teve início a convergência de umidade que define a qualidade do período chuvoso, especialmente nas Regiões Norte, Centro-Oeste e Sudeste. No entanto, essa convergência de umidade foi insuficiente para a caracterização de clássicos episódios de Zona de Convergência do Atlântico do Sul (ZCAS), que representa um dos mecanismos mais importantes na caracterização da pluviosidade sobre essas regiões. Associadas à persistente circulação anticiclônica sobre o Atlântico Sul, as chuvas	Comportamento climatológico para toda a Região, com igual probabilidade para as três categorias.	Em torno da normal climatológica

		excederam a média histórica principalmente no setor leste da Região Nordeste.		
2013	Dezembro	Novembro foi marcado pelo estabelecimento do período chuvoso no setor central do Brasil que, não obstante, apresentou totais pluviométricos abaixo da média devido a pouca formação de zonas de convergência de umidade sobre as Regiões Centro-Oeste e Sudeste. Por outro lado, sobre a Região Nordeste, a atuação de vórtices ciclônicos na alta troposfera favoreceu o aumento dos totais pluviométricos mensais que, embora tenham excedido a climatologia, foram inferiores a 50 mm na maior parte do semiárido nordestino. Na Região Sul, a maior atuação de sistemas frontais contribuiu para a pluviometria acima da média no Rio Grande do Sul. As chuvas também excederam a média histórica desde o sudeste da Bahia até o leste da Região Sudeste, ainda decorrente da circulação anticiclônica mais intensa que o normal sobre o Atlântico Sul.	Comportamento climatológico para toda a Região, com igual probabilidade para as três categorias.	Em torno da normal climatológica
2014	Janeiro	O mês de dezembro foi marcado pelo excesso de chuva em parte das Regiões Sudeste e Nordeste do Brasil, especialmente no leste de Minas Gerais e no Espírito Santo, onde a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) causou aumento do volume de chuva e sérios transtornos à população. Por outro lado, as chuvas continuaram escassas no norte da Região Nordeste. No Rio Grande do Norte, em particular, a quase totalidade dos municípios decretaram situação de emergência por causa da estiagem prolongada.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Em torno da normal climatológica.
2014	Fevereiro	Janeiro foi um mês com predominância de anomalias negativas de precipitação na maior parte do Brasil, com exceção de áreas isoladas principalmente no norte, oeste e sul do País. No norte da Região Nordeste, em particular, o déficit pluviométrico reduziu o volume de água da maioria dos açudes, nos quais os valores observados foram inferiores a 30% da capacidade máxima de armazenamento. O deslocamento do sistema de alta pressão semipermanente do	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Entre normal e acima da normal climatológica.

		Atlântico Sul sobre o leste do Brasil ocasionou a ausência de episódios bem configurados da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), resultando na diminuição do nível da maioria dos reservatórios monitorados nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste. Por outro lado, sobre a Região Sul, a presença de uma circulação de bloqueio atmosférico no Pacífico Sul favoreceu o excesso de chuva principalmente no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina.		
2014	Março	A ausência de episódios bem configurados da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) durante fevereiro, em parte associada à presença anômala de vórtices ciclônicos na média e alta troposfera, contribuiu para a escassez de chuvas na maior parte das Regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, especialmente durante a primeira quinzena do mês. Por outro lado, os totais pluviométricos situaram-se acima da média histórica em parte das Regiões Norte e Sul do Brasil	Previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Em torno da normal climatológica
2014	Abril	As chuvas continuaram abaixo da média em grande parte das Regiões Nordeste e Sudeste e nos setores norte e leste da Região Norte no decorrer de março de 2014. Por outro lado, ocorreram chuvas mais acentuadas e acima da média histórica principalmente no oeste das Regiões Norte, Centro-Oeste e Sul do Brasil. Neste mês, houve a formação de apenas dois fracos episódios da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Variando entre normal e acima da normal climatológica para o sul da Região
2014	Maio	Em abril, as chuvas foram mais acentuadas no setor central do Brasil, porém ocorreram predominantemente abaixo da climatologia no norte e leste da Região Nordeste e em grande parte da Região Norte, com destaque para a grande variabilidade espacial das anomalias pluviométricas, principalmente no semiárido nordestino, onde, em algumas áreas, as chuvas excederam a climatologia do período.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Variando entre normal e acima da normal climatológica para o sul da Região, que inclui o Rio de Janeiro e o sul de Minas Gerais.
2014	Junho	Persistência de águas superficiais e subsuperficiais mais quentes que o normal nos setores central e leste do Oceano Pacífico Equatorial, em conjunto com o relaxamento dos ventos alísios no decorrer dos	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias, com exceção do	Em torno da normal climatológica para o sul da Região, que

		dois últimos meses, sinaliza a plena evolução da fase quente do fenômeno El Niño. A ocorrência de chuvas abaixo da média sobre o norte da América do Sul, que inclui parte da Região Norte do Brasil, durante maio e junho deste ano, já reflete o aquecimento das águas adjacente à costa oeste das Américas do Sul e Central.	sul de São Paulo, onde a chuva pode se situar na categoria acima da faixa normal.	inclui o Rio de Janeiro e o sul de Minas Gerais. Nas demais áreas, as temperaturas podem variar entre normal e acima da normal
2014	Julho	As chuvas intensas que ocorreram em várias cidades da Região Sul, causando danos humanos e materiais, contrastaram com a deficiência hídrica em parte das Regiões Sudeste e Centro-Oeste, em particular no Estado de São Paulo, durante junho de 2014. Por outro lado, predominou o déficit pluviométrico no norte da Região Norte e nos setores norte e leste da Região Nordeste, porém com grande variabilidade espacial. Na região metropolitana de Natal-RN, por exemplo, houve excesso pluviométrico e o volume de chuva registrado em apenas dois dias excedeu o valor climatológico para todo o mês de junho.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias, com exceção do sul de São Paulo, onde a chuva pode se situar entre as categorias normal e acima da faixa normal.	Acima da normal climatológica para toda a Região.
2014	Agosto	As chuvas continuaram abaixo da média histórica sobre o norte da Região Norte e também no sudoeste do Amazonas e no Acre, durante julho de 2014. Neste mês, a passagem de perturbações na média e alta troposfera, aliada à incursão de sistemas frontais favoreceu o excesso de chuva principalmente no sul das Regiões Sul e Centro-Oeste. Em contrapartida, houve déficit pluviométrico em Santa Catarina e no leste do Paraná e São Paulo. Já a faixa leste da Região Nordeste continuou apresentando irregularidade na distribuição de anomalias de precipitação, com destaque para as chuvas acima da média entre o litoral de Alagoas e o sul da Bahia.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Acima da normal climatológica para toda a Região.
2014	Setembro	Agosto foi um mês com poucas chuvas na maior parte do Brasil. Os totais pluviométricos excederam a média histórica somente em algumas áreas das Regiões Norte, Nordeste e Sudeste do Brasil, com destaque para os valores acima da média em Alagoas. Por outro lado,	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias	Acima da normal climatológica para toda a Região.

		houve maior escassez de chuva na Região Sul e nos setores norte e sul da Região Norte		
2014	Outubro	As chuvas ocorreram abaixo dos valores médios históricos principalmente nas Regiões Norte e Sudeste do Brasil, enquanto que os acumulados mensais de precipitação excederam a climatologia mensal na maior parte da Região Sul. Esta distribuição espacial das anomalias de precipitação está, em parte, associada ao desenvolvimento da fase quente do fenômeno El Niño -Oscilação Sul (ENOS) na faixa equatorial do Oceano Pacífico, mas também a aspectos de variabilidade intrassazonal que se mostraram atuantes sobre o Brasil entre setembro e outubro de 2014.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias	Variando entre normal e acima da normal climatológica para toda a Região.
2014	Novembro	Outubro foi marcado pela permanência de uma circulação anticiclônica anômala sobre a parte central da América do Sul, que contribuiu para a inibição das chuvas nas Regiões Centro-Oeste e Sudeste e norte da Região Sul do Brasil. Por outro lado, o deslocamento do primeiro sistema frontal e os ventos de sudeste mais intensos contribuíram para os acumulados de precipitação no leste da Região Nordeste, especialmente entre Alagoas e Pernambuco, onde choveu acima da climatologia mensal. As chuvas também excederam a média histórica em parte da Região Norte, especialmente no Pará, nordeste do Amazonas, leste de Roraima e no Amapá.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias	Variando de normal a acima da normal climatológica em toda a Região.
2014	Dezembro	O período chuvoso na grande área central do Brasil teve início em novembro, favorecido pela passagem de ondas atmosféricas intrassazonais que contribuíram para a ocorrência de chuvas. Neste mesmo período, ocorreu a formação do primeiro episódio de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), cuja banda de nebulosidade atuou ao norte de sua posição climatológica e favoreceu a ocorrência de acumulados de chuva principalmente sobre a Região Nordeste. As chuvas também excederam a média histórica em parte da Região Sudeste, amenizando a situação de seca no oeste de São Paulo e nos setores sul e oeste de Minas Gerais	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Variando de normal a acima da normal climatológica em toda a Região.

2015	Janeiro	No decorrer de dezembro 2014 até meados de janeiro de 2015, a presença de uma condição de bloqueio atmosférico nas latitudes médias do Hemisfério Sul inibiu a formação do principal sistema responsável pela qualidade do período chuvoso no setor central do Brasil: a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Somente em algumas áreas do País e na maior parte da Região Sul, os acumulados de precipitação excederam os valores climatológicos para dezembro.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Variando de normal a acima da normal climatológica em toda a Região.
2015	Fevereiro	A ausência de episódios da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) contribuiu para o déficit pluviométrico na maior parte do Brasil, principalmente até o início da segunda quinzena de janeiro de 2015. Somente após o enfraquecimento da condição de bloqueio atmosférico, voltou a chover com maior frequência em várias regiões do País. As temperaturas ocorreram acima da média histórica em toda a Região Sudeste e em parte da Região Centro-Oeste	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Variando de normal a acima da normal climatológica no sul da Região
2015	Março	Interrompendo um dos mais longos períodos de estiagem, superior a doze meses em algumas áreas, a ocorrência de dois episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) ocasionou chuvas mais generalizadas na grande área central do Brasil, que inclui as Regiões Sudeste e Centro-Oeste. No entanto, choveu muito abaixo da média histórica no norte do Mato Grosso e também nos setores sul e leste da Região Norte.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Em torno da normal climatológica
2015	Abril	Apesar da ausência de episódios bem configurados de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), as chuvas continuaram acima da média histórica em grande parte da Região Sudeste no decorrer de março 2015. Por outro lado, o déficit pluviométrico permaneceu acentuado no norte e oeste do Brasil, principalmente no Mato Grosso e no nordeste do Pará.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Em torno a acima da normal climatológica.
2015	Maio	As chuvas ocorreram abaixo da média histórica nas Regiões Norte, Nordeste e Sul do Brasil no decorrer dos três últimos meses. Na Região Sul, em particular, a diminuição das chuvas foi associada principalmente à configuração de bloqueios atmosféricos sobre os	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Em torno a acima da normal climatológica.

		oceanos Pacífico e Atlântico Sul. Na grande área central do País, a configuração de zonas de convergência de umidade contribuiu para a ocorrência de chuvas, ainda que insuficientes para a recuperação das reservas hídricas.		
2015	Junho	A intensificação do fenômeno El Niño - Oscilação Sul (ENOS) no Pacífico Equatorial, durante maio, foi constatada pelo aumento das anomalias positivas da temperatura do mar, relaxamento dos ventos alísios e diminuição da pressão ao nível do mar no setor leste deste oceano. Consistente com os padrões canônicos associados à fase quente do fenômeno ENOS, a distribuição pluviométrica sobre o Brasil evidenciou o déficit pluviométrico no norte das Regiões Norte e Nordeste, sem, contudo, observar-se a ocorrência de excesso de chuva na Região Sul.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Em torno a acima da normal climatológica
2015	Julho	O padrão de anomalias de precipitação sobre o norte do Brasil foi bastante característico do fenômeno El Niño no trimestre abril a junho de 2015, com chuvas predominantemente abaixo da média histórica. No último mês, as chuvas continuaram abaixo da média na maior parte da Região Sul, porém com as mudanças do padrão atmosférico no decorrer de julho, passou a chover predominantemente acima da climatologia, como esperado em anos de El Niño. As temperaturas mínimas também refletiram a ocorrência deste fenômeno, ficando acima da média na maior parte do Brasil, tanto em junho como em julho corrente.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Em torno a acima da normal climatológica.
2015	Agosto	Julho apresentou um padrão característico do fenômeno El Niño, com chuvas predominantemente abaixo da média histórica na Região Norte e em parte da Região Nordeste, e abaixo da média na Região Sul do Brasil. No norte do Paraná, o volume de chuva excedeu a climatologia em mais que 300 mm. A intensificação dos ventos sobre o Atlântico Sul também contribuiu para a ocorrência de chuvas acima da média histórica em algumas áreas do litoral da Região Nordeste. Destacou-se, também, o aumento das temperaturas mínimas, que ficaram acima da média em todo o País.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias. Para o extremo sul de SP, a previsão indica chuva em torno a acima da faixa normal climatológica	Acima da faixa normal climatológica.

2015	Setembro	No decorrer do trimestre junho-julho-agosto, foi observado acentuado déficit pluviométrico na maior parte das Regiões Norte e Nordeste, associado ao fenômeno El Niño. No leste da Região Nordeste, houve excesso de chuva entre Alagoas e Pernambuco e no litoral sul da Bahia, sendo este o período climatologicamente mais chuvoso. Na Região Sul, destacou-se uma grande irregularidade na distribuição espacial e temporal das anomalias de precipitação, destacando-se o excesso de chuva em julho e a escassez nos meses de junho e agosto.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias na maior parte da Região. Para o extremo sul de São Paulo, a previsão indica chuva em torno a acima da faixa normal climatológica.	Acima da faixa normal climatológica.
2015	Outubro	Durante o mês de setembro, as chuvas continuaram abaixo da média histórica em grande parte do País, com exceção do centro-sul do Brasil, que experimentou índices pluviométricos muito acima da normal climatológica. Esse padrão foi determinado pela evolução do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) que atingiu uma condição ainda mais intensa, com valores da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) excedendo em até 3°C os valores médios históricos na área mais central do Pacífico Equatorial. A evolução desse aquecimento continuará no trimestre NDJ/2016, até o fenômeno El Niño atingir sua máxima intensidade. Em associação ao aquecimento do Pacífico Equatorial, também já se observa aumento da temperatura da superfície das águas do Oceano Atlântico Tropical Norte, com anomalias positivas variando entre 1°C a 2°C. Adjacente à costa do continente africano, em torno da longitude 20°W, as anomalias de TSM excederam 2°C e contribuíram para o enfraquecimento dos ventos alísios.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias na maior parte da Região. Para o extremo sul de São Paulo, a previsão indica chuva em torno a acima da faixa normal climatológica, enquanto que para o extremo norte de Minas Gerais a maior probabilidade é de totais pluviométricos na categoria abaixo da faixa normal.	Acima da faixa normal climatológica.
2015	Novembro	Outubro registrou temperaturas máximas recordes no setor central e leste do Brasil, com valores diários que excederam 40°C principalmente nos Estados de Goiás, Tocantins, Bahia, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Nestas áreas, as chuvas escassas e os baixos valores de umidade relativa do ar foram associados ao início tardio da estação chuvosa. Por outro lado, houve excesso de chuva no Rio Grande do Sul, no leste de Santa Catarina e no norte do Paraná.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias na maior parte da Região. Apenas para o extremo noroeste de Minas Gerais, a maior probabilidade é de totais	Acima da faixa normal climatológica.

			pluviométricos na categoria abaixo da faixa normal	
2015	Dezembro	Durante novembro, persistiu a condição de déficit pluviométrico sobre grande parte das Regiões Norte, Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste do Brasil e superávit pluviométrico sobre a Região Sul, englobando parte de São Paulo e Mato Grosso do Sul.	Maior probabilidade na categoria acima da faixa normal para o extremo sul de São Paulo e abaixo da faixa normal no extremo norte de Minas Gerais. Nas demais áreas, a previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Acima da faixa normal climatológica.
2016	Janeiro	A condição de déficit pluviométrico sobre grande parte das Regiões Norte, Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste do Brasil e superávit pluviométrico sobre a Região Sul também persistiu durante dezembro de 2015. Ainda assim, notou-se a ocorrência de chuvas acima da média em algumas áreas no oeste e norte da Região Norte e no litoral da Região Nordeste, entre o Rio Grande do Norte e Alagoas. As temperaturas continuaram elevadas na maior parte do País, especialmente no interior da Região Nordeste. Já durante janeiro de 2016, houve mudança significativa da circulação atmosférica e dos padrões de temperatura e precipitação, com a diminuição das elevadas temperaturas, aumento da pluviometria sobre as Regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste e redução das abundantes precipitações observadas no último trimestre (OND) sobre a Região Sul.	Maior probabilidade na categoria acima da faixa normal para o extremo sul de São Paulo. Nas demais áreas, a previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Acima da faixa normal climatológica.
2016	Fevereiro	Janeiro apresentou uma nítida reversão nos padrões de circulação atmosférica e precipitação sobre o Brasil, relativamente aos últimos meses, com anomalias positivas da pluviometria sobre as Regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste e negativas sobre parte da Região Sul. Tais mudanças abruptas se deveram à atuação de vórtices ciclônicos em altos níveis da atmosfera, próximo à costa da Região	Maior probabilidade na categoria acima da faixa normal para o extremo sul de São Paulo. Nas demais áreas, a previsão indica	Acima da faixa normal climatológica.

		Nordeste, à formação de um episódio da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) – o primeiro da temporada 2015/2016 – e à atuação de oscilações atmosféricas intrassazonais, que contribuíram para se contrapor aos efeitos do fenômeno El Niño sobre estas áreas. No entanto, a situação de escassez hídrica continuou crítica sobre quase toda a Região Norte, em particular no Amazonas e em Roraima, onde persistiram o déficit pluviométrico e as temperaturas elevadas.	igual probabilidade para as três categorias.	
2016	Março	O verão iniciou com déficit pluviométrico no centro-norte e excesso de chuva no sul do Brasil, como esperado em anos de El Niño. Em meados de janeiro, os padrões de circulação atmosférica passaram a ser influenciados por condições de bloqueio e oscilações atmosféricas intrassazonais que contribuíram para a formação de um longo episódio de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Entre o final de fevereiro e meados de março, também se configuraram episódios mais fracos de ZCAS. A formação destes sistemas, em conjunto com a atuação de vórtices ciclônicos em altos níveis da atmosfera, resultou no aumento dos totais pluviométricos em parte das Regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Normal a acima da faixa normal climatológica.
2016	Abril	A organização de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), embora fracos, contribuiu para a ocorrência de chuvas acima da média em parte das Regiões Sudeste e Centro-Oeste no final de fevereiro e no decorrer da primeira quinzena de março. As chuvas também excederam a média histórica em algumas áreas do Amazonas e Pará e em Rondônia. Por outro lado, a ZCIT atuou ao norte de sua posição climatológica durante março, contribuindo para o déficit pluviométrico em grande parte da Região Nordeste. Ainda assim, no final de março, ocorreram eventos extremos de precipitação na faixa leste do Nordeste	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Normal a acima da faixa normal climatológica.
2016	Maio	Os maiores destaques climáticos em abril foram o excesso de chuva em parte da faixa leste da Região Nordeste e o predomínio de escassez de precipitação na grande área central do Brasil, inclusive	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Normal a acima da faixa normal climatológica.

		no semiárido nordestino, desde fevereiro de 2016. Já na Região Sul, a passagem de um sistema frontal contribuiu para a ocorrência de totais pluviométricos acima da média histórica em grande parte do Rio Grande do Sul e no leste de Santa Catarina, bem como para a incursão da massa de ar frio que causou acentuado declínio das temperaturas mínimas nas serras gaúcha e catarinense.		
2016	Junho	Maio foi marcado por chuvas acima da média no Paraná e em São Paulo e por incursões de massas de ar frio que declinaram as temperaturas no centro-sul e oeste do Brasil. Por outro lado, houve acentuado déficit pluviométrico em grande parte das Regiões Norte e Nordeste, com ocorrência de temperaturas acima da média. A formação de episódios de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) favoreceu o excesso de chuva entre a Paraíba e Pernambuco. Contudo, em praticamente toda a faixa leste da Região Nordeste, cujo período mais chuvoso encontra-se em curso, os totais pluviométricos foram inferiores à média histórica.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Normal a acima da faixa normal climatológica
2016	Julho	A primeira quinzena de junho apresentou um acentuado declínio das temperaturas no centro-sul e oeste do Brasil, com ocorrência do fenômeno de <i>friagem</i> no sul da Amazônia e geada forte em vários municípios das Regiões Sul e Sudeste. Destacaram-se, também, os expressivos volumes de chuva no centro-sul da Região Sudeste, se comparados à climatologia do período, como resultado da atividade frontal e da passagem de perturbações na média e alta troposfera. Por outro lado, o déficit de chuva foi acentuado no norte da Região Norte, no leste da Região Nordeste (Zona da Mata) – que ainda se encontra no seu período mais chuvoso – e em grande parte da Região Sul.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias. Climatologicamente, o início deste período ainda é considerado de estiagem na maior parte da Região.	Normal a acima da faixa normal climatológica
2016	Agosto	As atuais condições de temperatura do Pacífico Equatorial, bem como dos ventos, da pressão atmosférica e da precipitação sobre este oceano, mostraram uma situação de neutralidade no que se refere ao fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), presentemente em transição para um fraco episódio de La Niña. Já no Atlântico	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias, com exceção do centro-sul de São Paulo, onde a maior probabilidade	Normal a acima da faixa normal climatológica.

		Tropical, as anomalias positivas de temperatura das águas superficiais ao norte do Equador foram consistentes com a atuação da Zona de Convergência Intertropical em torno de sua posição climatológica sobre o oceano	é de chuvas na categoria dentro da faixa normal climatológica.	
2016	Setembro	A análise dos campos oceânicos e atmosféricos para a região do Pacífico Equatorial mostrou diminuição da área de resfriamento anômalo das águas superficiais, bem como o relaxamento dos ventos nesta mesma área, no decorrer de agosto de 2016. Com este padrão oceânico e atmosférico, o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) permanece numa situação de neutralidade, diminuindo as chances de estabelecimento da condição de La Niña. No Atlântico Tropical, as anomalias positivas de temperatura das águas superficiais ao norte do equador contribuíram para a atuação da Zona de Convergência Intertropical em torno de sua posição climatológica.	A previsão indica baixa previsibilidade, com igual probabilidade para as três categorias.	Normal a acima da faixa normal climatológica.
2016	Outubro	Os campos oceânicos e atmosféricos destacaram a manutenção da condição de neutralidade do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), porém com moderado aumento do resfriamento das águas superficiais na porção oeste do Pacífico Equatorial entre setembro e outubro corrente. O aumento da atividade convectiva na região da Indonésia e norte da Austrália e o Índice de Oscilação Sul (IOS), que atingiu o maior valor positivo (1.2) dos últimos cinco meses, também indicaram ligeiro acoplamento entre o oceano e a atmosfera. No Atlântico Tropical, a persistência de águas superficiais mais quentes que o normal ao norte da faixa equatorial favoreceu a atuação da Zona de Convergência Intertropical em torno de sua posição climatológica.	A previsão indica baixa previsibilidade, com igual probabilidade para as três categorias	Normal a acima da faixa normal climatológica.
2016	Novembro	O episódio frio do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), conhecido por La Niña, já está presente na porção oeste do Pacífico Equatorial, principalmente sobre a região da Indonésia, onde houve considerável aumento da convecção. Contudo, como ainda não se configurou o acoplamento entre o oceano e a atmosfera na porção central e leste do Pacífico Equatorial, o evento La Niña ainda não	A previsão indica baixa previsibilidade, com igual probabilidade para as três categorias.	Dentro da normal climatológica.

		está plenamente estabelecido. Prevê-se que tal acoplamento ocorra no auge do verão 2016/2017. Além disso, é importante mencionar que os modelos numéricos de previsão climática apontam para uma condição de La Niña de curta duração e com fraca intensidade.		
2016	Dezembro	Durante novembro até meados de dezembro corrente, destacou-se o predomínio de chuvas abaixo da média histórica, principalmente nas Regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e em parte da Região Sudeste, como resultado da ausência de episódios bem configurados de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), típicos deste período do ano. No entanto, houve a formação de regiões de convergência de umidade que contribuíram para a ocorrência de extremos de precipitação em algumas áreas no leste de Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Bahia.	Baixa previsibilidade, com igual probabilidade para as três categorias.	Dentro da normal climatológica
2017	Janeiro	Durante a segunda quinzena de dezembro de 2016 e primeira quinzena de janeiro de 2017, destacou-se o estabelecimento da Alta da Bolívia sobre a América do Sul e dos Vórtices Ciclônicos sobre o Atlântico Tropical Sul. Neste período, o predomínio de chuvas abaixo da média histórica na grande área central do Brasil, que engloba as Regiões Centro-Oeste e Sudeste e parte das Regiões Norte e Nordeste, foi consistente com a ausência de episódios bem configurados de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A Região Sul, por sua vez, apresentou predominância de chuvas acima da média, com destaque para os maiores totais de chuva registrados no litoral do Paraná e no interior do Rio Grande do Sul.	A previsão indica baixa previsibilidade, com igual probabilidade para as três categorias.	Dentro da normal climatológica
2017	Fevereiro	O destaque nos campos atmosféricos e oceânicos globais, em janeiro de 2017, foi o aquecimento das águas superficiais dos oceanos Pacífico, adjacente à costa da América do Sul, e Atlântico, adjacente à costa sudeste e sul do Brasil. Este padrão de anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) também foi associado às condições de bloqueio atmosférico que inibiram a ocorrência de chuvas na grande área central do Brasil, refletindo na ausência de	A previsão indica baixa previsibilidade, com igual probabilidade para as três categorias	Normal a acima da faixa normal em São Paulo e no sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Nas demais áreas, a previsão indica valores em

		clássicos episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) em janeiro passado. No oeste da Amazônia, o aumento do volume de chuvas causou a elevação dos níveis dos rios Negro, Tapajós e Amazonas, cujas cotas já estão próximas dos valores máximos históricos.		torno da normal climatológica
2017	Março	Desde o mês de fevereiro até o momento, a ausência de episódios bem configurados de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) tem sido consistente com a predominância de precipitação abaixo da média histórica nas Regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. É importante ressaltar que, em alguns períodos, a passagem de distúrbios atmosféricos na média e alta troposfera favoreceu a ocorrência de acumulados de chuva superiores a 200 mm em localidades no Paraná e São Paulo. Na Região Norte, o excesso de precipitação favoreceu a elevação das cotas dos principais rios, aproximando os valores observados dos máximos históricos	A previsão indica baixa previsibilidade, com igual probabilidade para as três categorias.	Em torno a acima da normal climatológica.
2017	Abril	As chuvas ocorreram predominantemente abaixo da média histórica nos meses de março e abril – meses que definem a qualidade do período chuvoso no norte da Região Nordeste. A ausência de episódios bem configurados de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) também contribuiu para as chuvas abaixo da média em grande parte das Regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Na Região Norte, os rios Tapajós (estação Santarém) e Amazonas (estação Itacoatiara) já excederam as cotas de transbordamento. Na faixa leste da Região Nordeste, o período mais chuvoso (abril a julho) iniciou com predominância de chuvas em torno e abaixo da média histórica.	A previsão indica baixa previsibilidade, com igual probabilidade para as três categorias	Em torno a acima da normal climatológica. A exceção ocorre para o Estado de São Paulo, onde as temperaturas são previstas em torno da normal.
2017	Maio	O aumento das anomalias positivas de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região do Atlântico Tropical Norte, em área e magnitude, resultou na migração da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para latitudes mais ao norte ainda durante abril. Dessa forma, choveu predominantemente abaixo da média histórica no norte da Região Nordeste. Já as anomalias positivas de TSM	Previsão indica baixa previsibilidade, com igual probabilidade para as três categorias na maior parte da Região. Para o sul do Mato Grosso do Sul, a	Em torno a acima da normal climatológica. A exceção ocorre para o Estado de São Paulo, onde as temperaturas são

		adjacentes à costa oeste da América do Sul, que atingiram valores superiores a 3°C em março, apresentaram diminuição no último mês.	previsão indica a categoria em torno da normal climatológica como mais provável.	previstas em torno da normal
2017	Junho	As anomalias positivas de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), na região do Atlântico Tropical Norte, contribuíram para que a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) atuasse entre 5°N e 10°N, ao norte de sua posição climatológica na maioria das pântadas de maio. Próximo à costa sudeste da América do Sul, por sua vez, a ocorrência de anomalias positivas de TSM pelo quinto mês consecutivo pode ter favorecido as chuvas acima da média sobre o centro-sul do Brasil, em maio e junho corrente.	Previsão indica baixa previsibilidade, com igual probabilidade para as três categorias na maior parte da Região. Para o sul do Mato Grosso do Sul e sudeste de São Paulo, a previsão indica a categoria em torno da normal climatológica como mais provável.	Em torno da normal climatológica.
2017	Julho	Junho apresentou chuvas predominantemente abaixo da média na Região Norte e no norte da Região Nordeste, incluindo o leste do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, onde a situação hídrica é bastante crítica. Por outro lado, a intensificação do escoamento anticiclônico próximo à costa leste do Brasil e a formação de distúrbios no escoamento de leste favoreceram o aumento da convergência de umidade entre a faixa litorânea sul de Pernambuco e Sergipe, onde choveu acima da média histórica.	A previsão indica baixa previsibilidade, com igual probabilidade para as três categorias.	Normal a acima da normal climatológica.
2017	Agosto	O destaque para julho foi a persistência da anomalia anticiclônica na região do Atlântico Sul, próximo à costa leste da Região Nordeste, que favoreceu a continuidade das chuvas acima da média histórica entre o litoral sul de Pernambuco e o leste da Bahia. Nesta área, a precipitação acumulada no trimestre MJJ/2017 excedeu a climatologia em mais que 300 mm. Por outro lado, este trimestre apresentou acentuado déficit pluviométrico na Região Norte do Brasil, em particular no noroeste do Amazonas e em Roraima, que ainda se encontram no seu período mais chuvoso.	A previsão indica baixa previsibilidade, com igual probabilidade para as três categorias.	Normal a acima da normal climatológica

2017	Setembro	A persistência da circulação atmosférica anticiclônica no Atlântico Sul, mais intensa que o normal, especialmente na primeira quinzena de setembro, favoreceu tanto a continuidade das chuvas acima da média histórica entre o litoral sul de Pernambuco e o leste da Bahia quanto a escassez das chuvas no oeste e sul do Brasil. Neste mesmo período, houve considerável aumento das temperaturas máximas no centro-sul do Brasil. Por outro lado, algumas áreas no norte da Região Norte apresentaram reversão no padrão de anomalias de precipitação relativamente ao mês anterior, passando a valores positivos em setembro corrente	A previsão indica maior probabilidade na categoria abaixo da faixa normal climatológica no norte e oeste de Minas Gerais. Nas demais áreas, a previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Acima da normal climatológica.
2017	Outubro	O padrão de bloqueio atmosférico, que persistiu até meados de outubro, em combinação com outros fatores, contribuiu para atrasar o início da estação chuvosa na área central que engloba as Regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, cujo estabelecimento deve ocorrer no mês de novembro. A situação hídrica de alguns reservatórios permanece bastante crítica tanto nos principais reservatórios do Nordeste quanto nas sub-bacias de Três Marias (bacia do Rio São Francisco) e Serra da Mesa (bacia do Rio Tocantins). Por outro lado, durante setembro, esta mesma condição de bloqueio atmosférico contribuiu para a ocorrência de chuvas acima da média na faixa leste do Nordeste, entre o sul de Pernambuco e o sul da Bahia.	A previsão indica maior probabilidade na categoria abaixo da faixa normal climatológica no norte de MG. Para o sul de SP, a categoria mais provável é dentro da normal. Nas demais áreas, a previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Maior probabilidade acima da normal climatológica na área em amarelo. Nas demais áreas, são previstas temperaturas em torno da normal.
2017	Novembro	A formação do primeiro episódio de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) deu início, no decorrer da primeira quinzena de novembro, ao período mais chuvoso na grande área central do Brasil. Os acumulados de precipitação, parciais para novembro, já excedem 300 mm em várias localidades da Região Centro-Oeste. Apesar do início das chuvas mais regulares sobre o Centro-Oeste, a situação hídrica continua crítica nas bacias dos rios São Francisco e Tocantins. Na sub-bacia de Três Marias, em particular, a vazão registrada em novembro de 2017 (86 m ³ /s) ficou 85% abaixo da média histórica (período de 1941 a 2016) e poderá bater o recorde	A previsão indica maior probabilidade na categoria abaixo da faixa normal climatológica no norte de MG. Para o sul de SP, a categoria mais provável é dentro da faixa normal, com a segunda maior probabilidade acima da faixa normal. Nas demais áreas, a previsão indica	Maior probabilidade acima da normal climatológica na área destacada em amarelo. Nas demais áreas, são previstas temperaturas em torno da normal

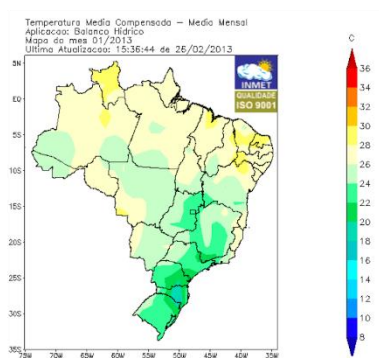
		mínimo histórico (165 m ³ /s) registrado em novembro de 2015, pelo quinto mês consecutivo.	igual probabilidade para as três categorias.	
2017	Dezembro	A mudança observada nas condições de bloqueio atmosférico, sobre o Hemisfério Sul, em novembro e dezembro corrente, favoreceu o estabelecimento do período chuvoso na grande área central do Brasil. Neste mesmo período, houve a formação de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que propiciaram a ocorrência de chuvas acima da média histórica, principalmente nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Por esta razão, a vazão afluyente à sub-bacia de Três Marias, que se encontrava muito próxima dos registros mínimos históricos em novembro passado, atingiu o valor médio histórico na primeira quinzena de dezembro.	Maior probabilidade na categoria dentro da faixa normal para o sul de SP, com a segunda maior probabilidade na categoria acima da faixa normal. Nas demais áreas, a previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Em torno da normal climatológica.
2018	Janeiro	Embora tenha se configurado apenas um episódio de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) na primeira quinzena de dezembro, choveu acima da média histórica em algumas áreas do Brasil Central, com transtornos principalmente em cidades do Estado de Minas Gerais. Na Região Norte, com o aumento das chuvas nos últimos meses, os níveis dos rios Solimões e Negro encontram-se em ascensão, porém a elevação das cotas dos rios está prevista abaixo dos valores máximos históricos de inundação. Também para o rio Madeira, esperam-se cotas máximas de menor intensidade, se comparada àquelas ocorridas em 2014, que foi a maior inundação daquele rio em registro histórico.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Em torno da normal climatológica
2018	Fevereiro	Choveu predominantemente abaixo da média na maior parte do Brasil em janeiro de 2018. Por outro lado, no centro-sul do País, que engloba o sul do Mato Grosso do Sul e de São Paulo e toda a Região Sul, as chuvas excederam a média histórica para o período, com expressivos acumulados pluviométricos em cidades da Região Sul. Ainda no final de janeiro e no decorrer de fevereiro, a passagem de um pulso da Oscilação Madden-Julian (OMJ) sobre a América do Sul, favorável ao aumento das chuvas, e a atuação de sistemas transientes contribuíram para a formação de eventos de Zona de	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Em torno da normal climatológica.

		Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). As estações do CEMADEN registraram expressivos acumulados de chuva em curto período, causando transtornos à população das Regiões Norte, Nordeste e norte da Região Sudeste.		
2018	Março	O mês de fevereiro foi marcado pelo excesso de chuva especialmente nas Regiões Norte, Nordeste e Sudeste do Brasil. Na área que engloba o sul do Mato Grosso do Sul e de São Paulo e toda a Região Sul, as chuvas ocorreram abaixo da média histórica neste mês. A partir de meados de março, a atuação mais ao norte da ZCIT contribuiu para a predominância de chuvas abaixo da média histórica no norte das Regiões Norte e Nordeste do Brasil. O cenário também mudou no centro-sul do País, em caráter transitório, com a passagem de um sistema frontal que contribuiu para a ocorrência de chuvas acima da média histórica.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias	Em torno da normal climatológica.
2018	Abril	O último mês da estação de verão foi marcado pela atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ao norte de sua posição climatológica e com fraca atividade convectiva. Este padrão, associado à passagem de um pulso subsidente da Oscilação de Madden-Julian (OMJ) sobre a América do Sul, resultou em acentuado déficit pluviométrico no norte das Regiões Norte e Nordeste do Brasil. As chuvas também ocorreram abaixo da média em grande parte das Regiões Centro-Oeste e Sudeste.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Em torno da normal climatológica.
2018	Maio	Abril foi marcado pela atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) em torno e ao norte de sua posição climatológica, especialmente na porção central do Atlântico Equatorial, onde sua atividade convectiva foi anormalmente reduzida. Na primeira quinzena de abril, além da posição favorável da ZCIT, o aumento das chuvas no norte da Região Nordeste foi associado à passagem de um pulso favorável da Oscilação de Madden-Julian (OMJ) sobre a América do Sul. No final de abril, passou a atuar um escoamento anticiclônico anômalo sobre o	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Em torno da normal climatológica

		Atlântico Sul, o que resultou em déficit pluviométrico na maior parte do Brasil.		
2018	Junho	Maio apresentou ocorrência de chuvas abaixo da média histórica na maior parte do Brasil. Dentre os principais mecanismos responsáveis pela redução das precipitações, destacaram-se o escoamento anticiclônico anômalo em baixos níveis da atmosfera, que se estendeu sobre o interior do País, e a passagem de um pulso de variabilidade intrassazonal. Este pulso associado à oscilação Madden-Julian (OMJ) contribuiu para a ocorrência de chuvas abaixo da média sobre a América do Sul, em particular no decorrer da segunda quinzena.	A previsão indica igual probabilidade para as três categorias.	Em torno da normal climatológica.

ANEXO D - Dados dos boletins mensais do INMET para os dados agroclimáticos do Brasil - Temperatura do ar

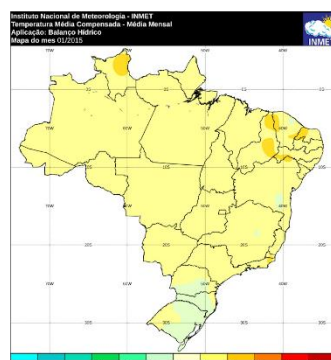
Temperatura Média - Janeiro



2013



2014



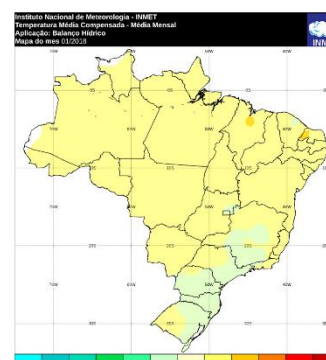
2015



2016



2017

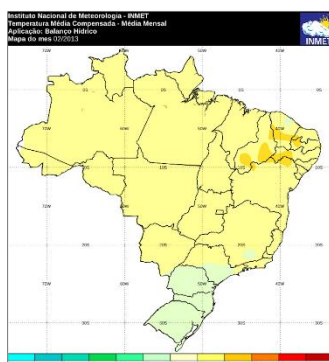


2018



Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

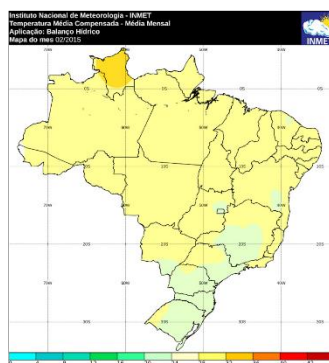
Temperatura Média - Fevereiro



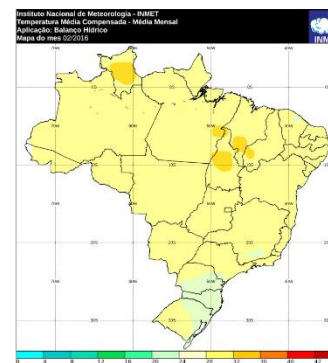
2013



2014



2015



2016



2017



2018



Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

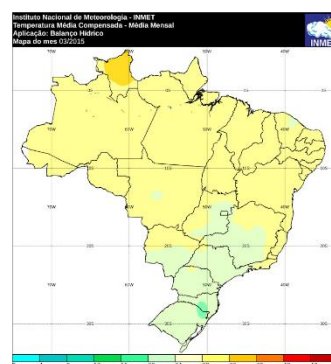
Temperatura Média - Março



2013



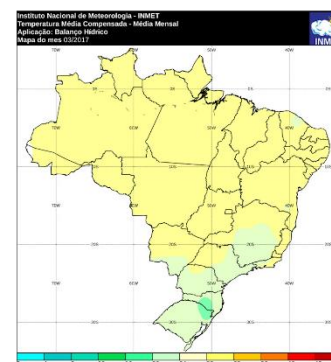
2014



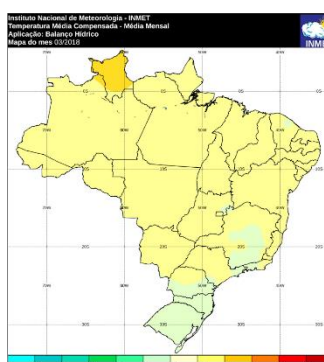
2015



2016



2017



2018

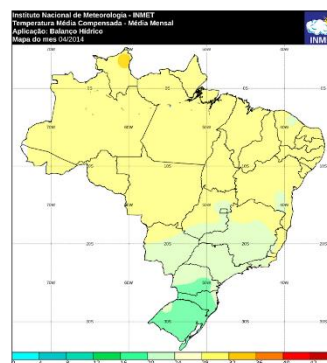
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



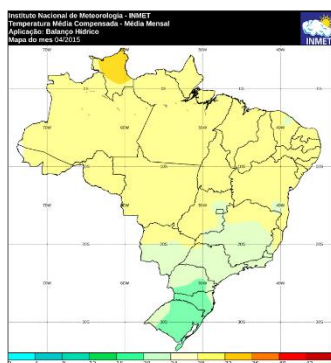
Temperatura Média - Abril



2013



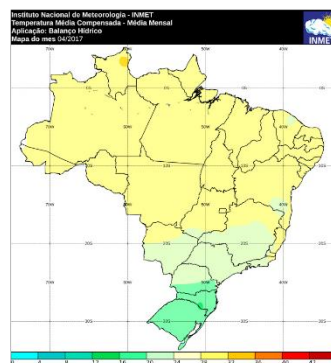
2014



2015



2016



2017

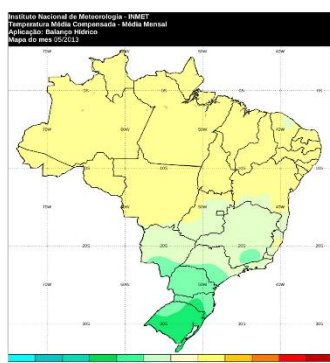


2018

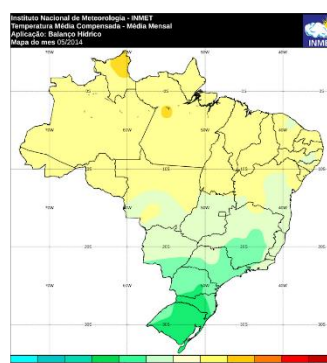
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



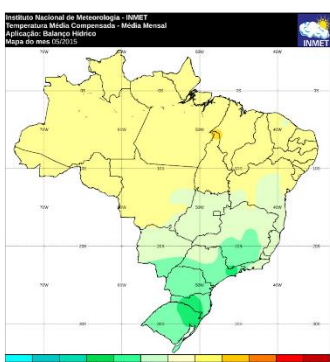
Temperatura Média - Maio



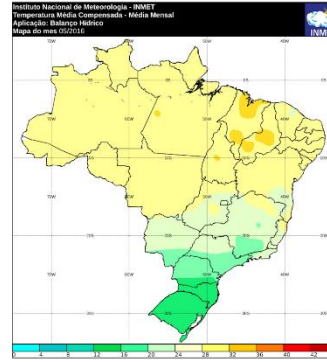
2013



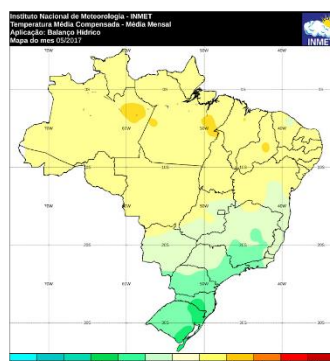
2014



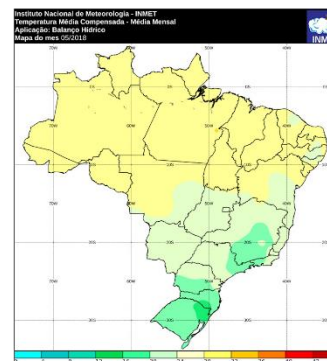
2015



2016



2017

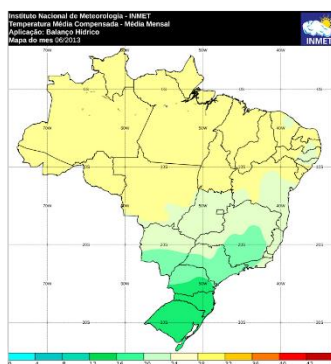


2018

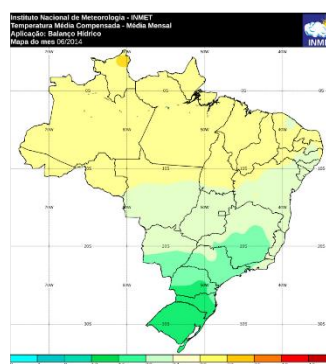


Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

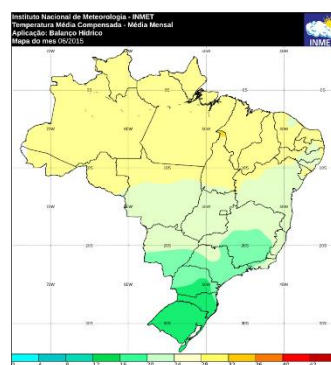
Temperatura Média - Junho



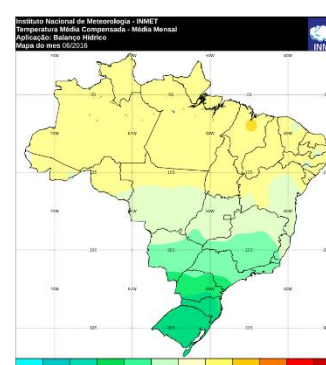
2013



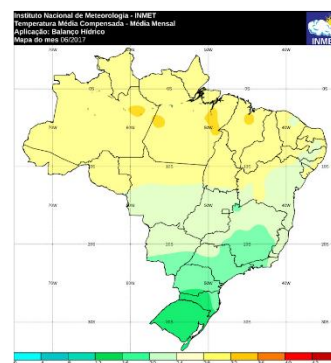
2014



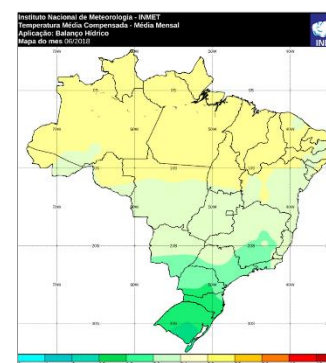
2015



2016



2017

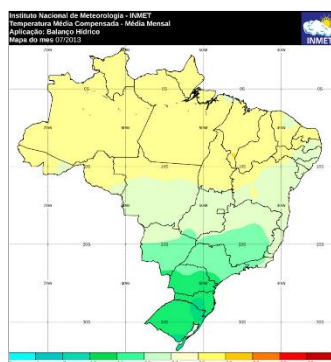


2018

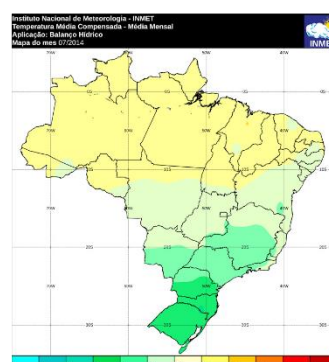
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



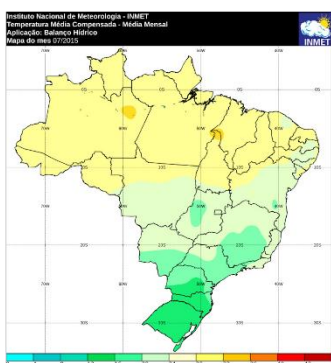
Temperatura Média - Julho



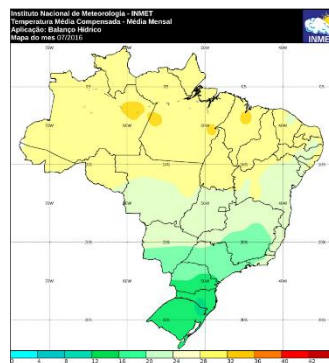
2013



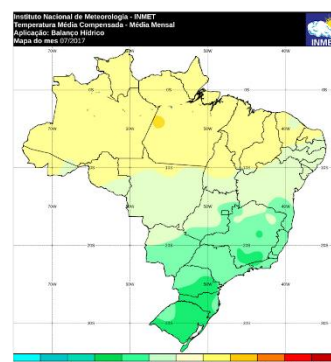
2014



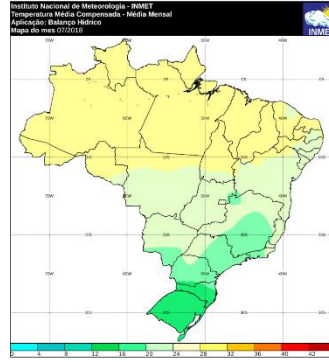
2015



2016



2017

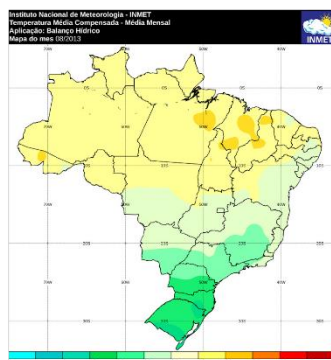


2018

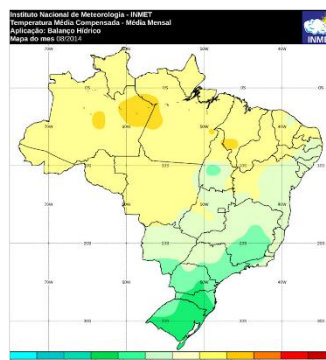
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



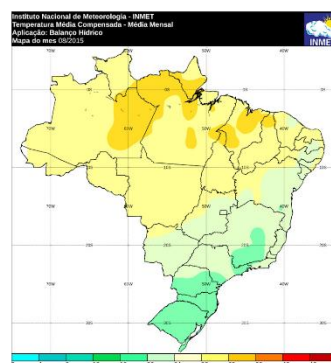
Temperatura Média - Agosto



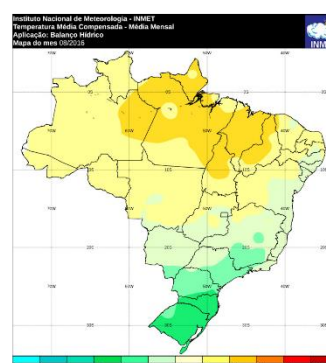
2013



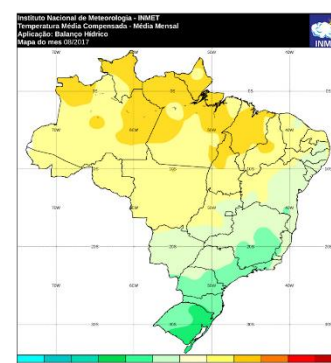
2014



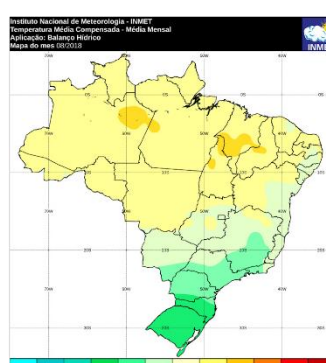
2015



2016



2017

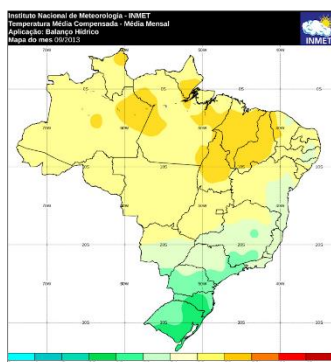


2018

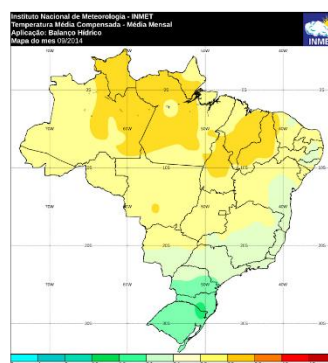


Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

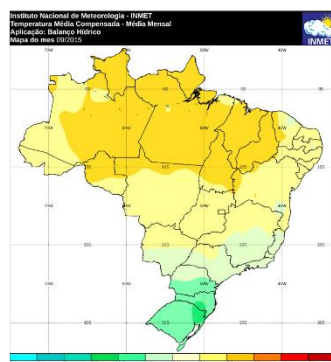
Temperatura Média - Setembro



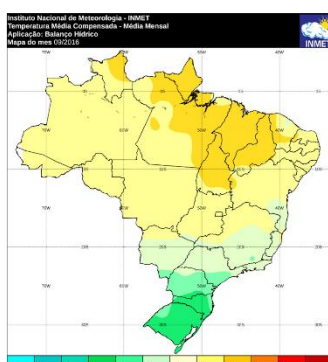
2013



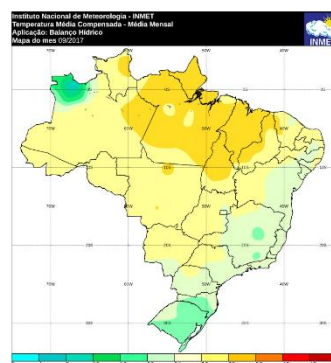
2014



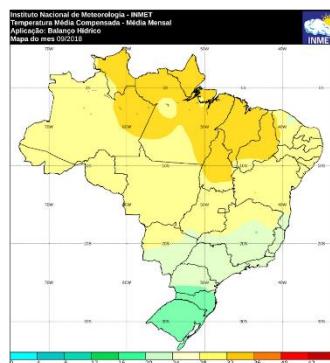
2015



2016



2017

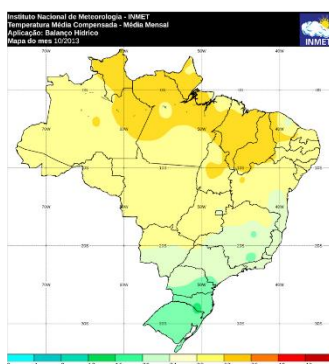


2018

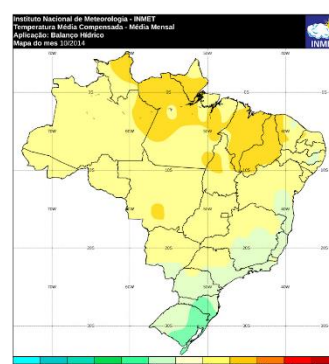
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



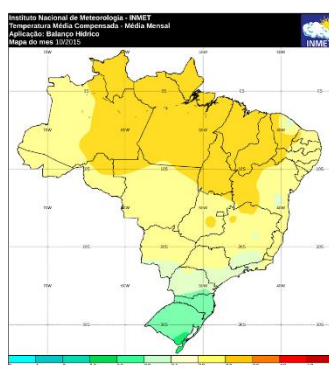
Temperatura média - Outubro



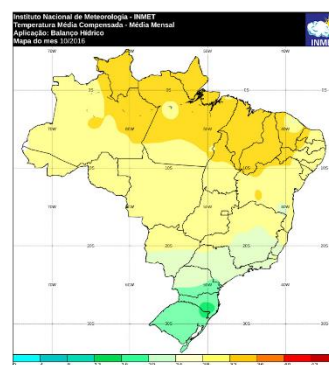
2013



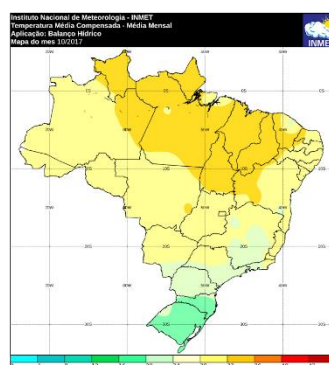
2014



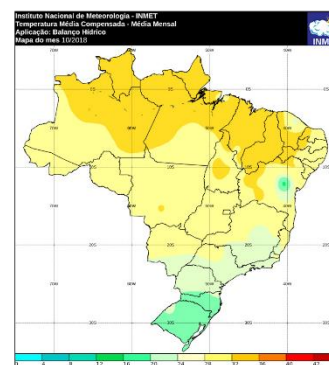
2015



2016



2017

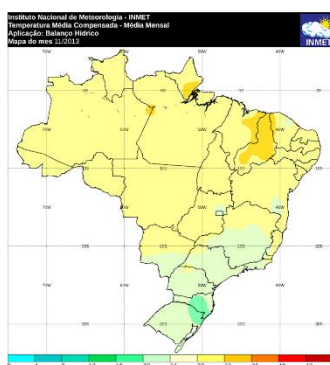


2018

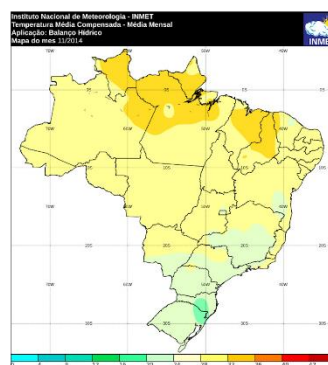


Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

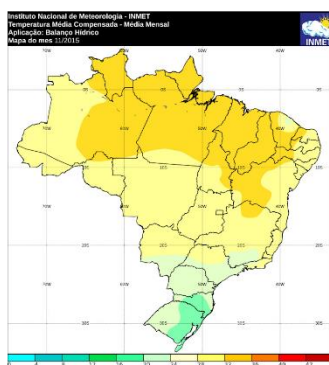
Temperatura média - Novembro



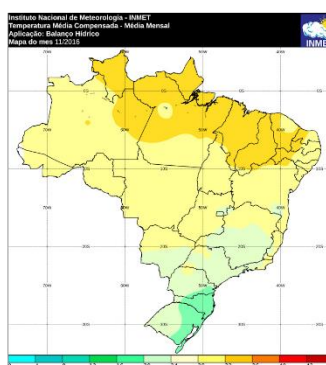
2013



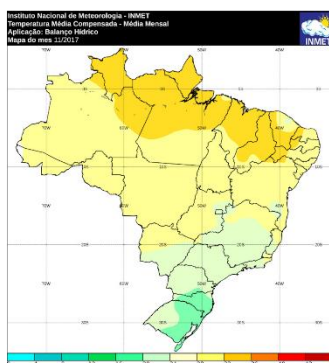
2014



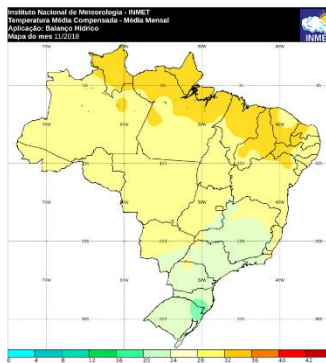
2015



2016



2017

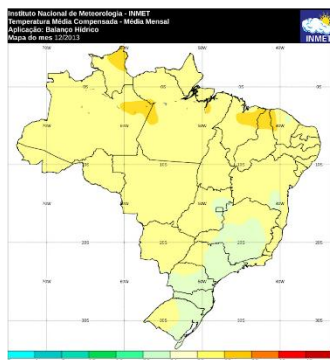


2018

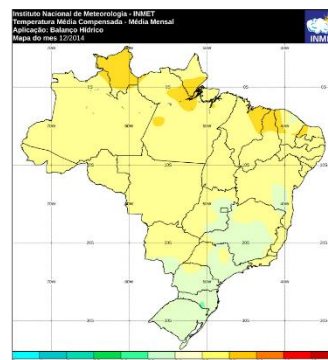


Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

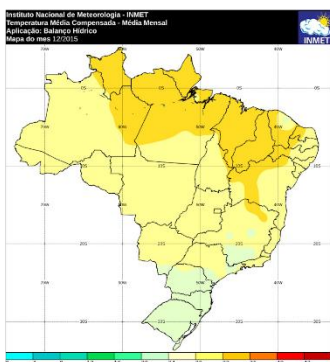
Temperatura média - Dezembro



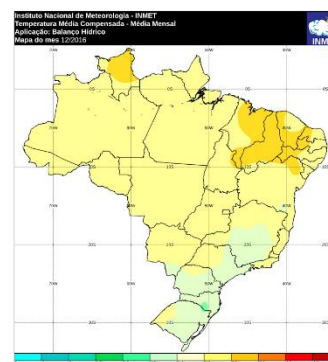
2013



2014



2015



2016



2017



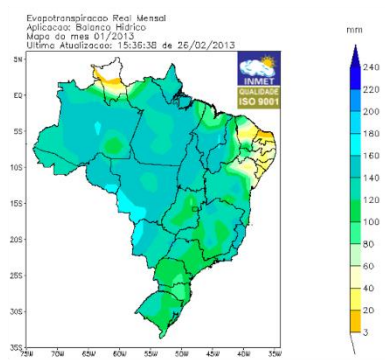
2018



Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

ANEXO E - Dados dos boletins mensais do INMET para os dados agroclimáticos do Brasil - Evapotranspiração

Evapotranspiração - Janeiro



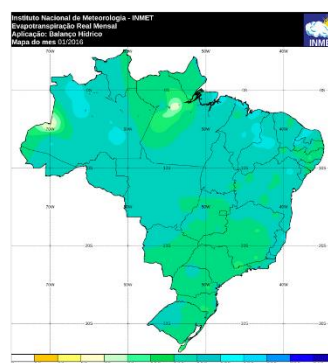
2013



2014



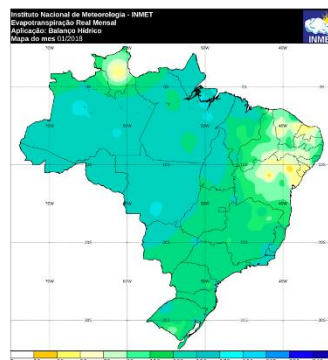
2015



2016



2017



2018



Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

Evapotranspiração - Fevereiro



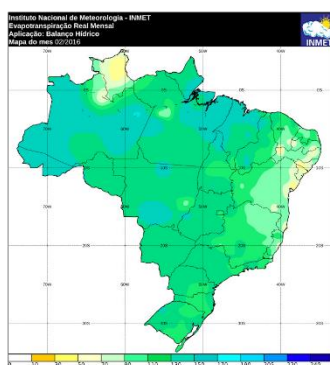
2013



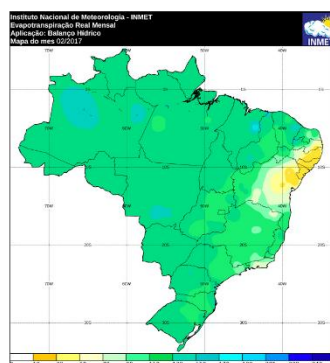
2014



2015



2016



2017



2018

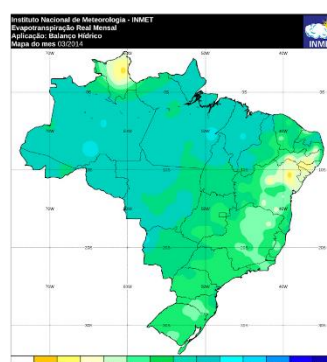
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



Evapotranspiração - Março



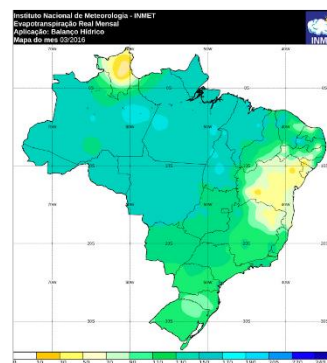
2013



2014



2015



2016



2017

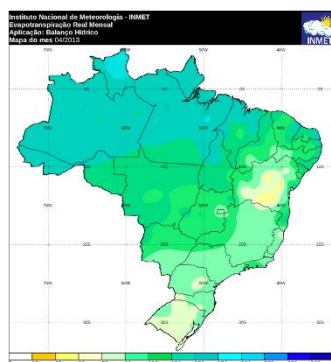


2018

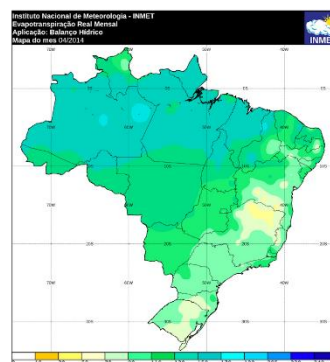
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



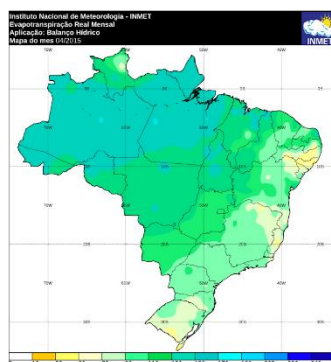
Evapotranspiração - Abril



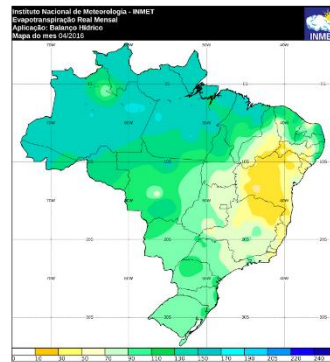
2013



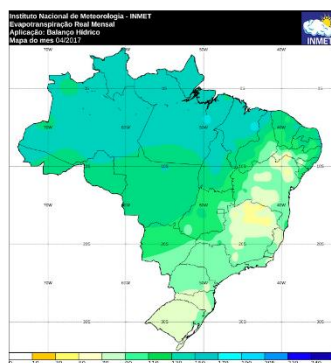
2014



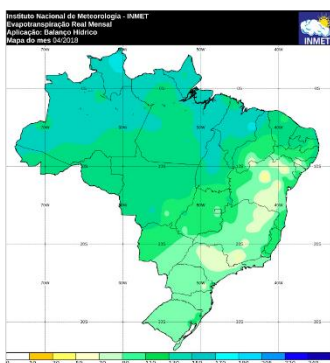
2015



2016



2017

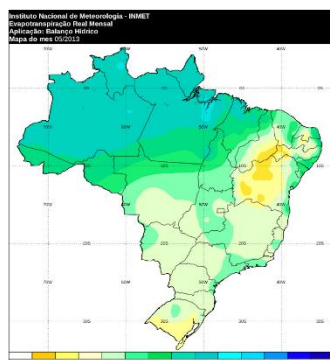


2018

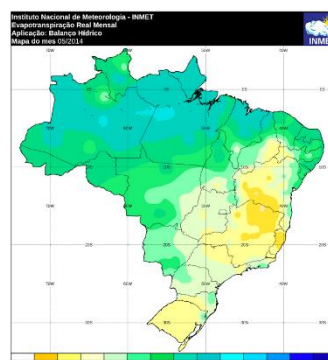
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



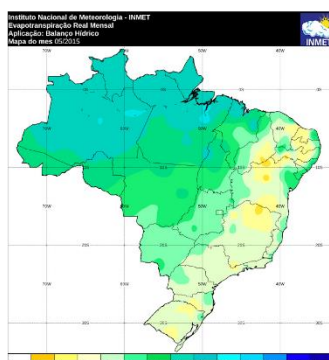
Evapotranspiração - Maio



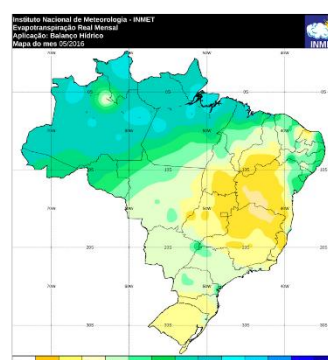
2013



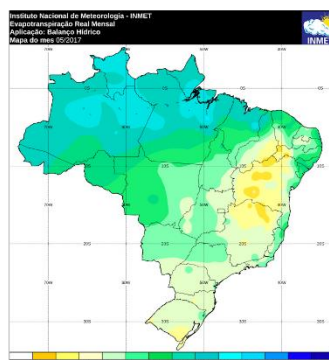
2014



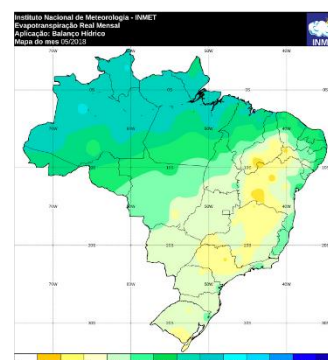
2015



2016



2017

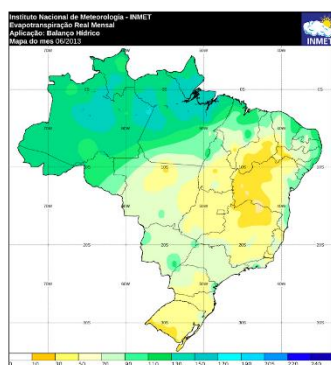


2018

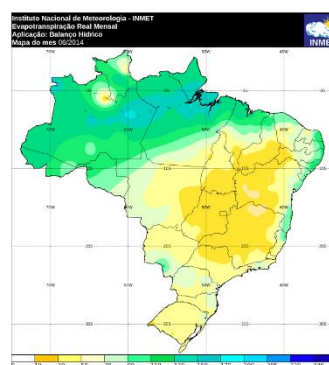


Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

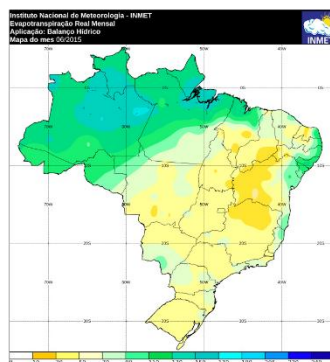
Evapotranspiração - Junho



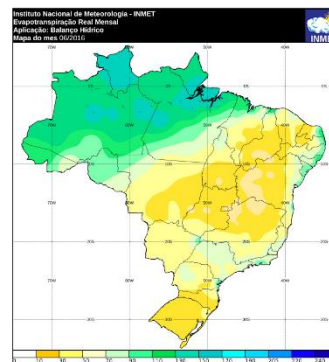
2013



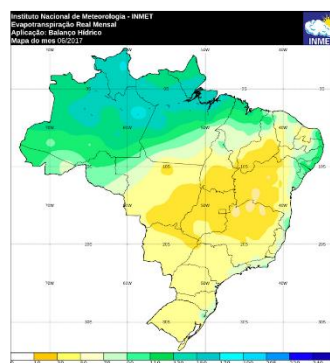
2014



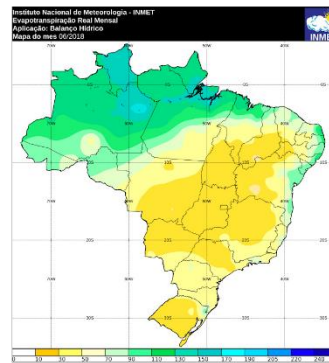
2015



2016



2017

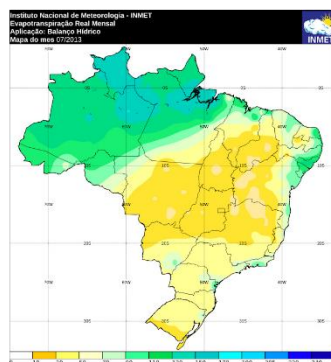


2018

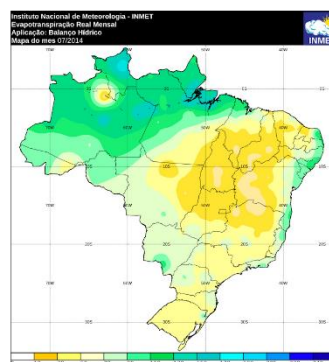
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



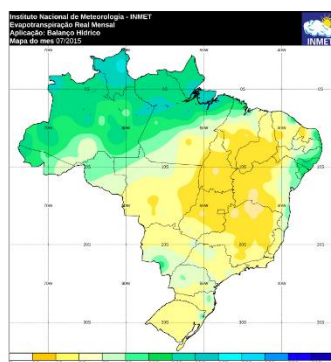
Evapotranspiração - Julho



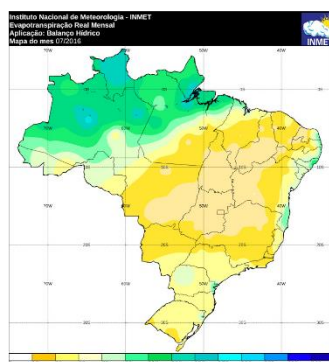
2013



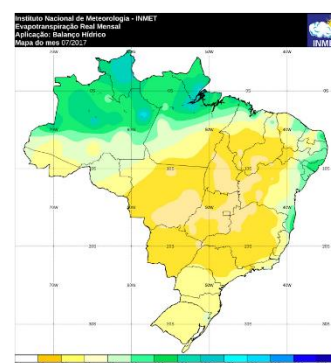
2014



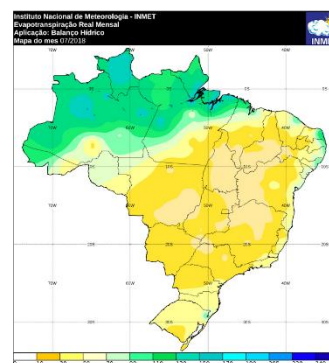
2015



2016



2017

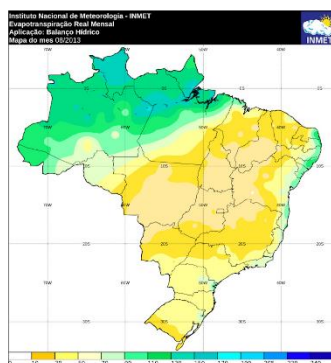


2018

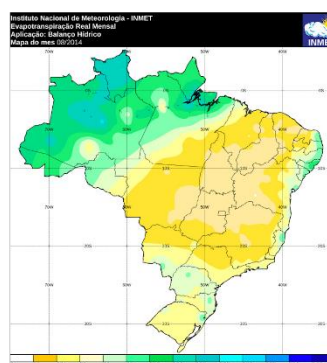


Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

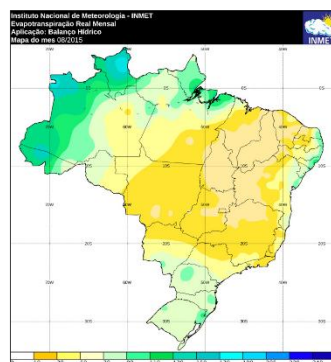
Evapotranspiração - Agosto



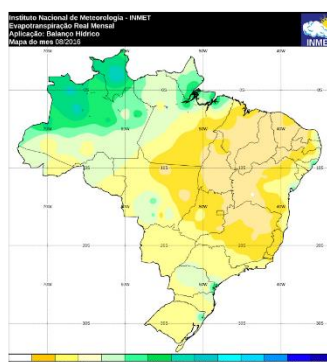
2013



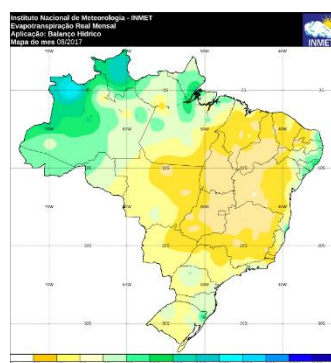
2014



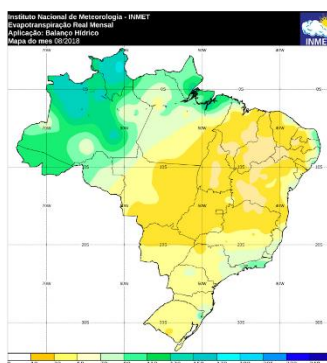
2015



2016



2017

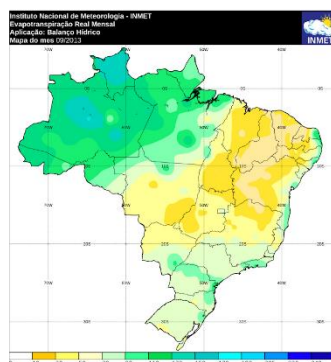


2018

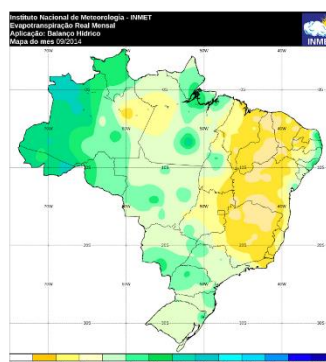
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



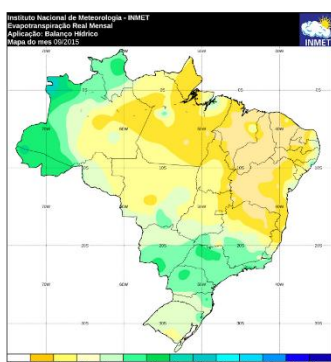
Evapotranspiração - Setembro



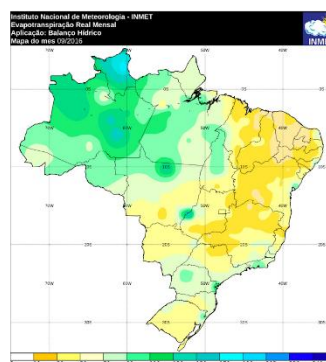
2013



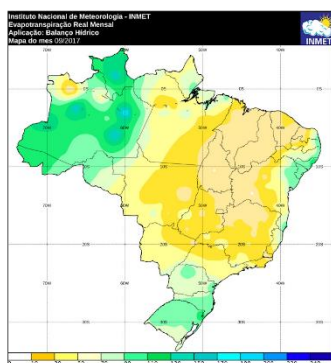
2014



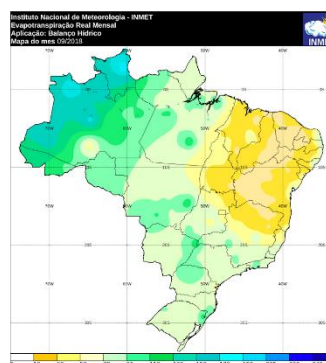
2015



2016



2017

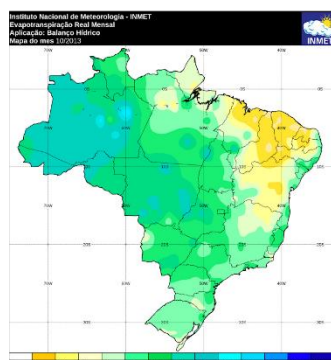


2018

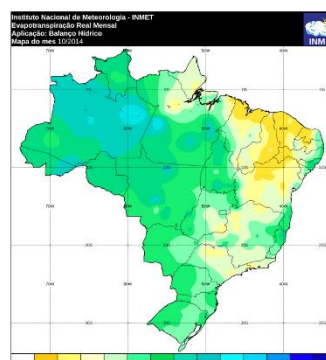
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



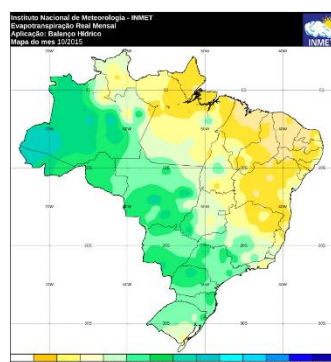
Evapotranspiração - Outubro



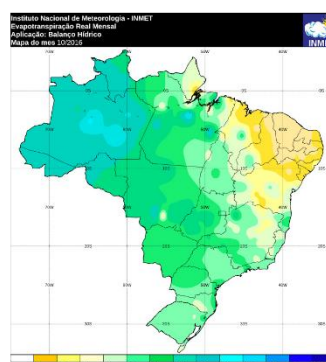
2013



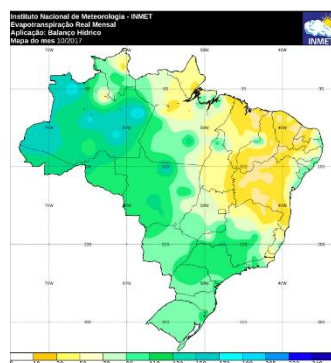
2014



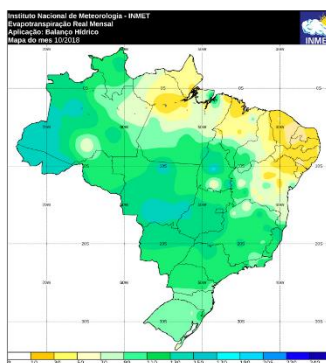
2015



2016



2017

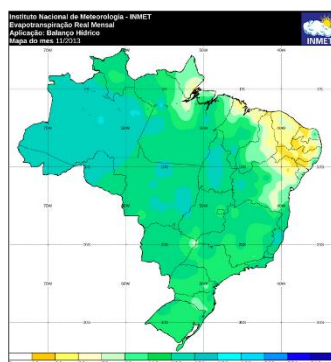


2018

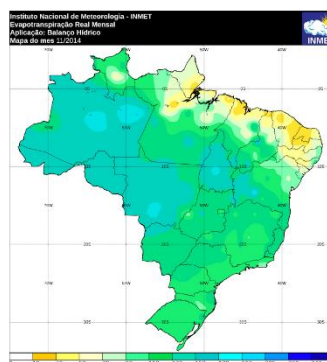


Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

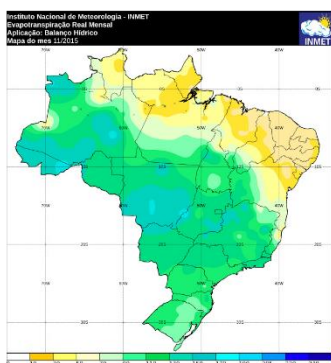
Evapotranspiração - Novembro



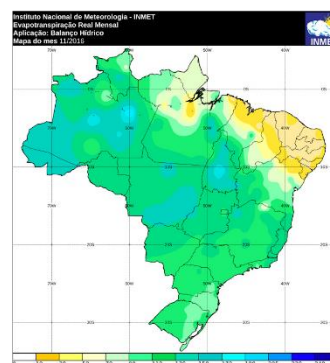
2013



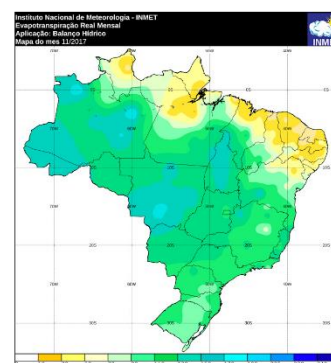
2014



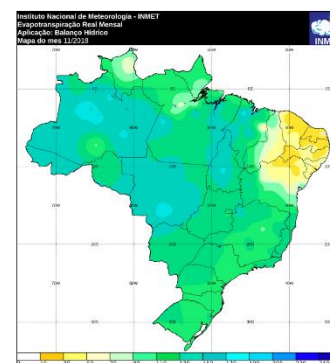
2015



2016



2017

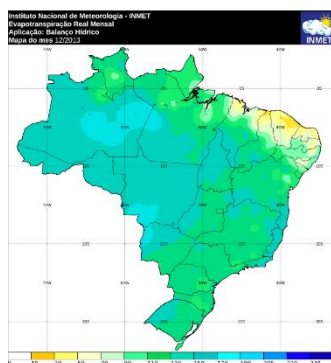


2018

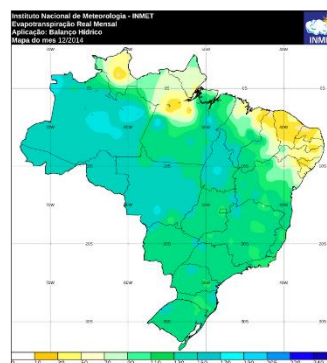
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



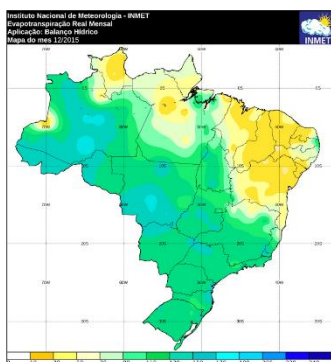
Evapotranspiração - Dezembro



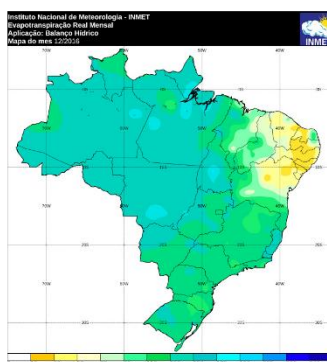
2013



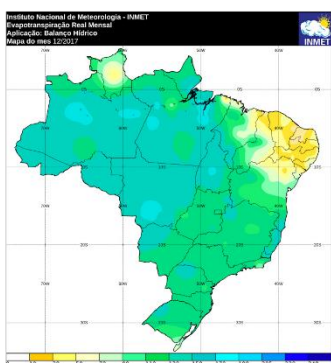
2014



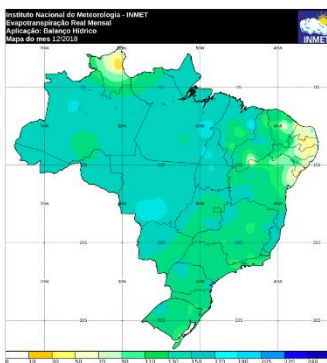
2015



2016



2017



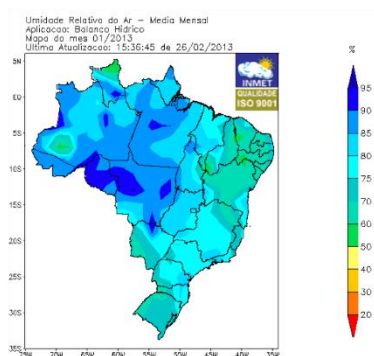
2018

Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

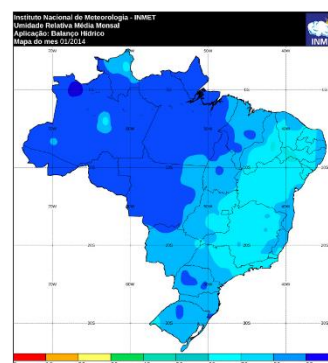


ANEXO F - Dados dos boletins mensais do INMET para os dados agroclimáticos do Brasil - Umidade

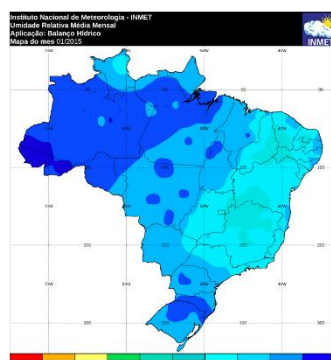
Umidade - Janeiro



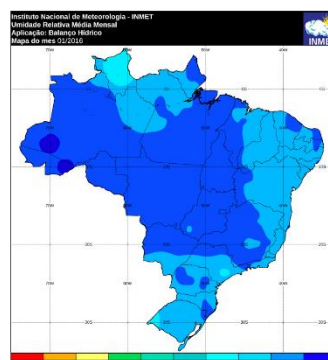
2013



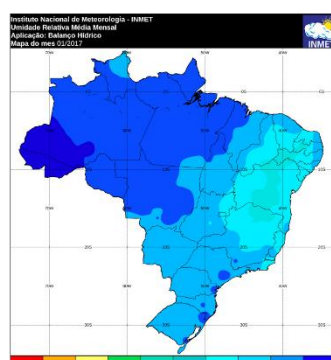
2014



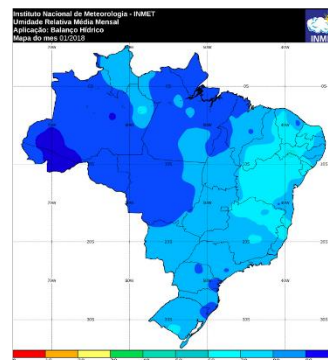
2015



2016



2017

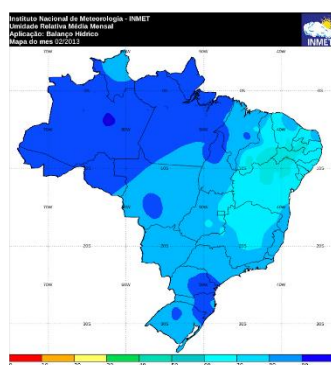


2018



Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

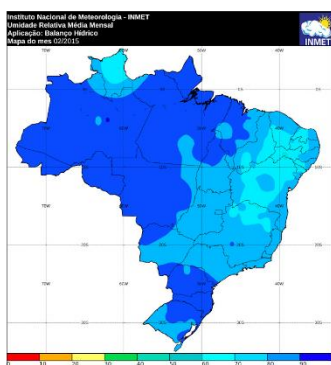
Umidade - Fevereiro



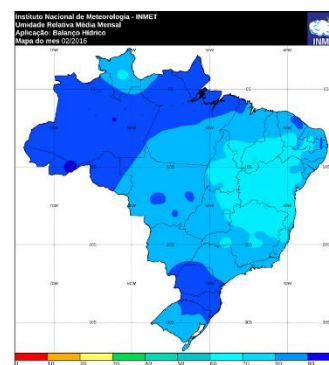
2013



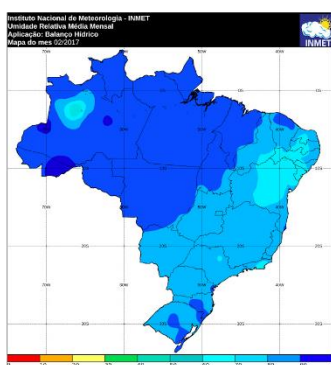
2014



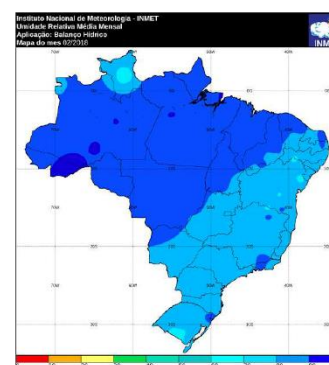
2015



2016



2017

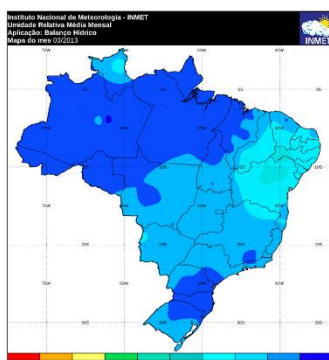


2018

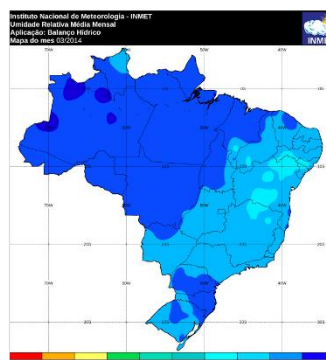
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



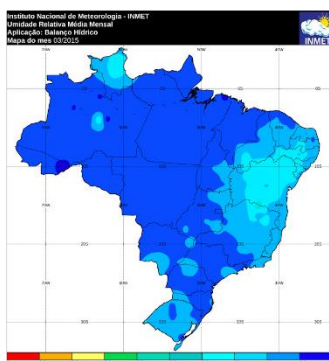
Umidade - Março



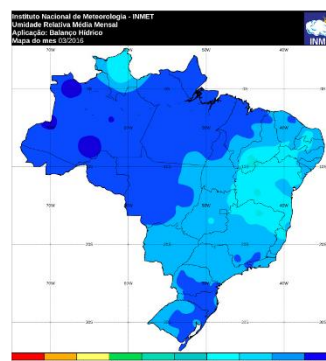
2013



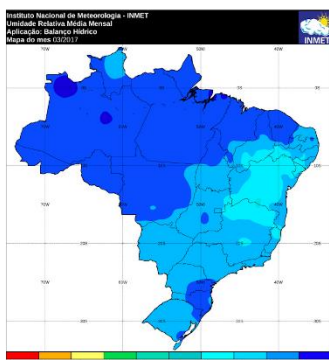
2014



2015



2016



2017

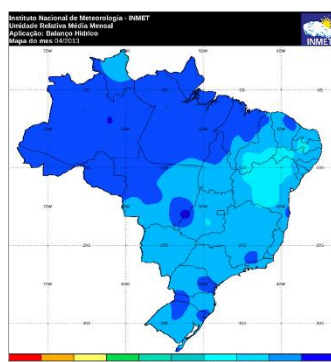


2018

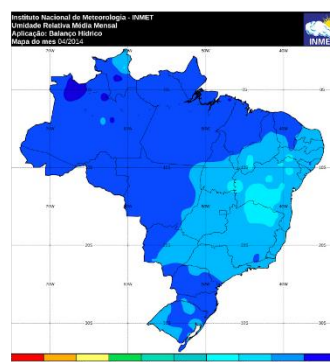
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



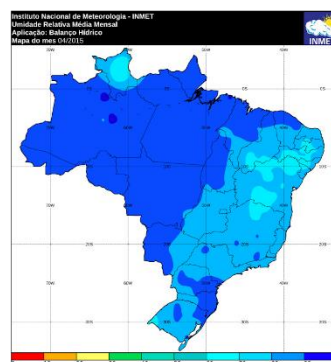
Umidade - Abril



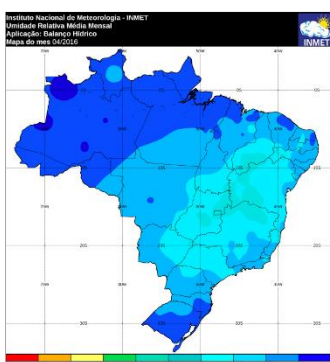
2013



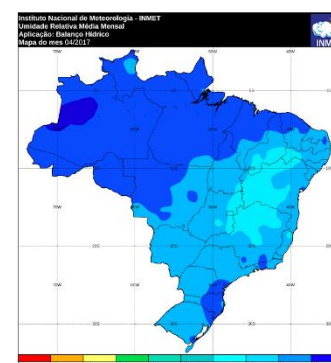
2014



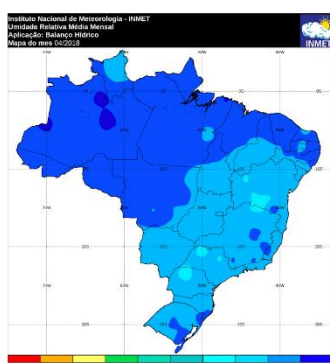
2015



2016



2017

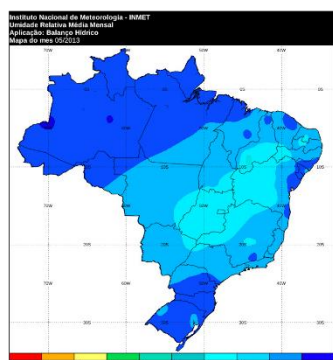


2018

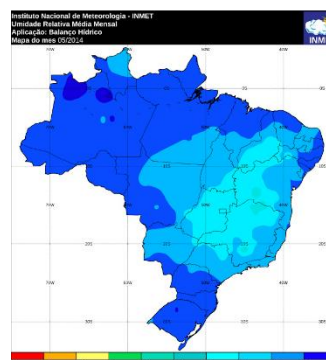


Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

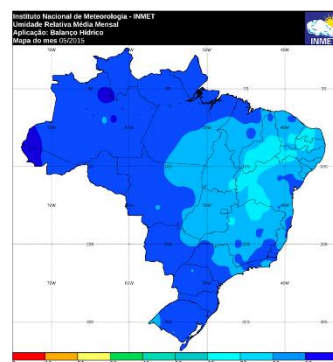
Umidade - Maio



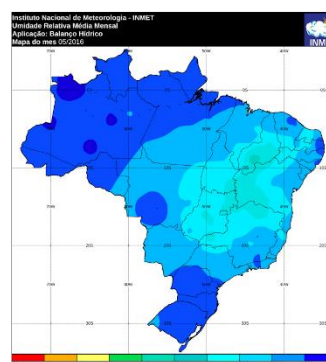
2013



2014



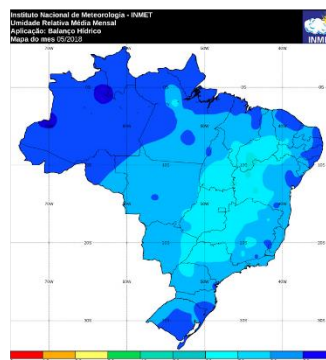
2015



2016



2017

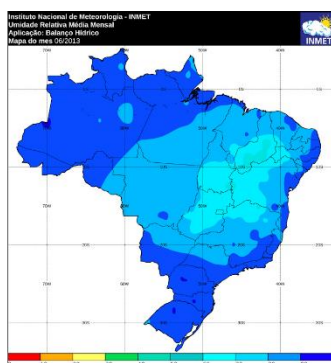


2018

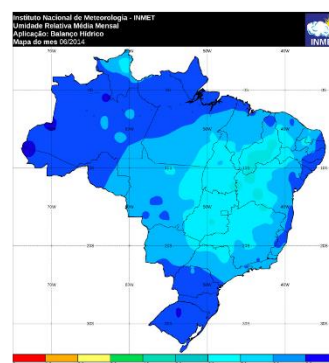
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



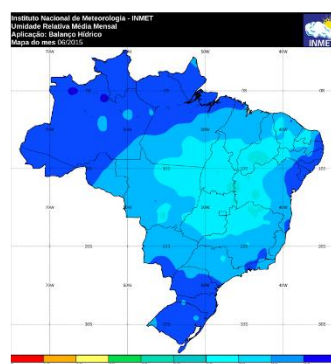
Umidade - Junho



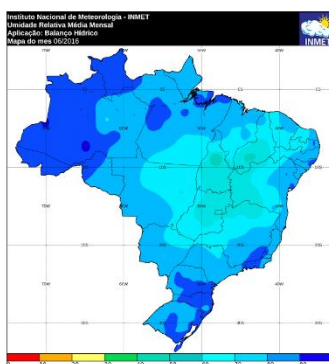
2013



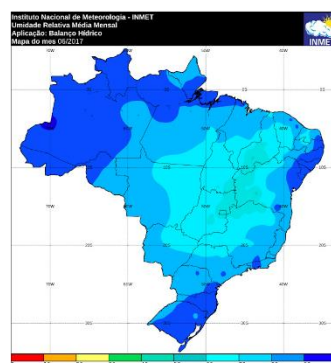
2014



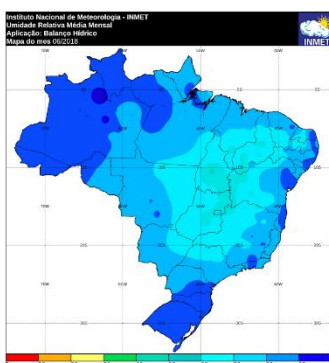
2015



2016



2017

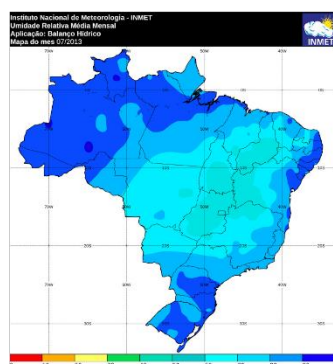


2018

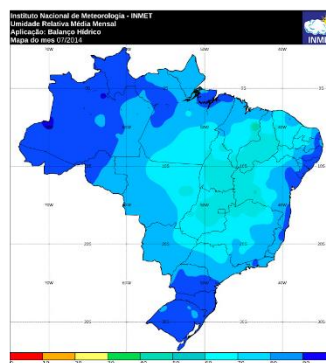


Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

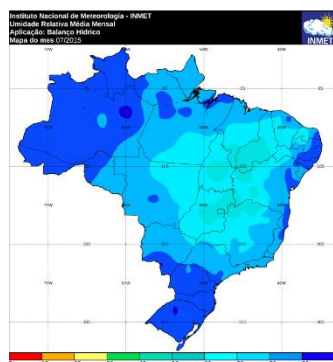
Umidade - Julho



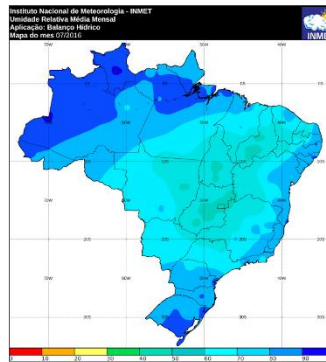
2013



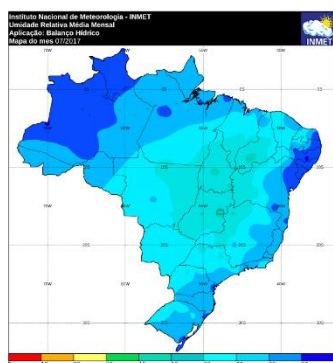
2014



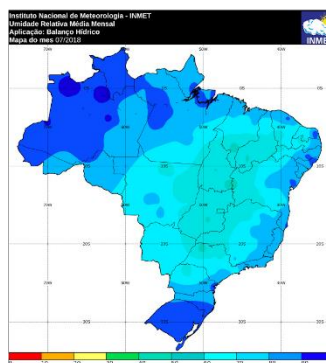
2015



2016



2017

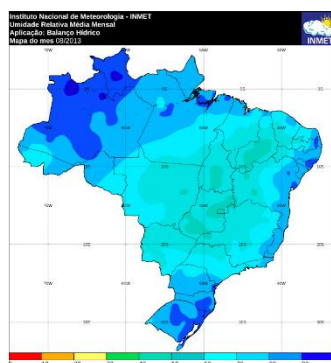


2018

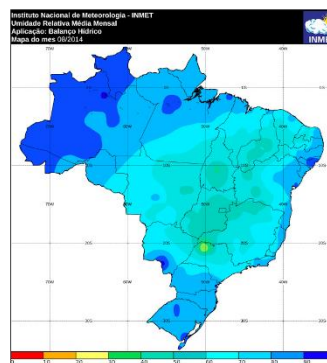
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



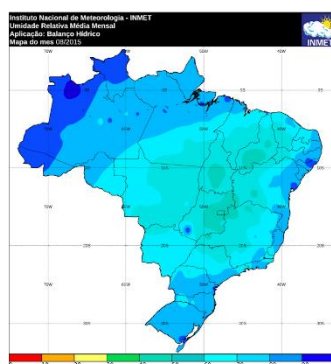
Umidade - Agosto



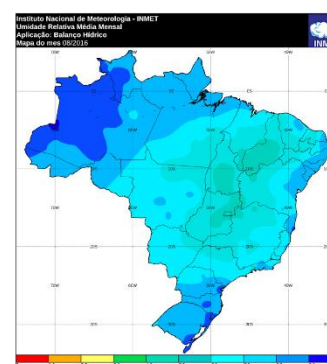
2013



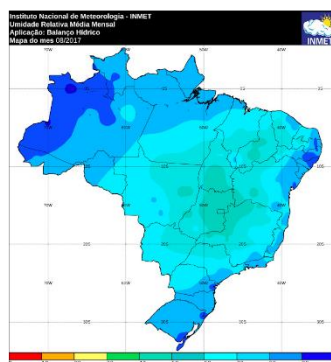
2014



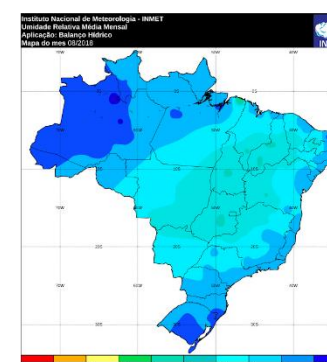
2015



2016



2017

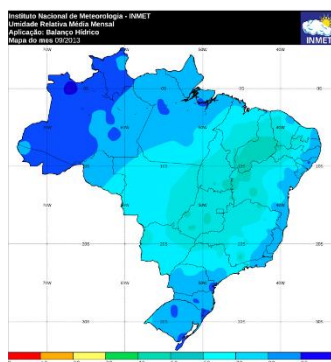


2018

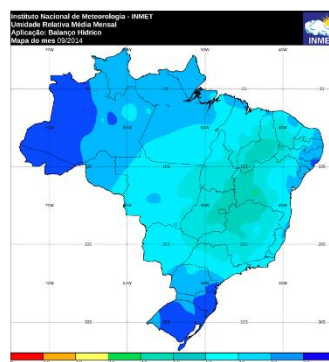
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



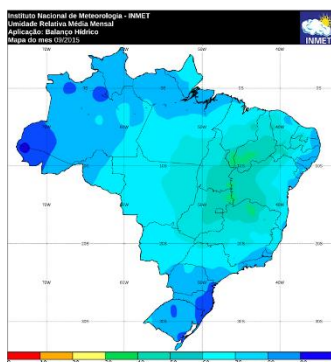
Umidade - Setembro



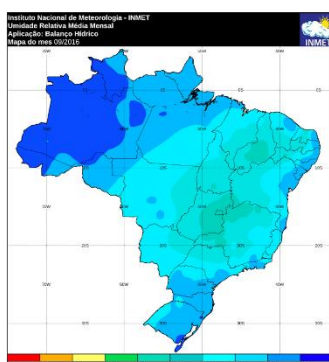
2013



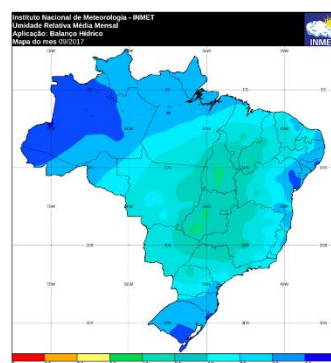
2014



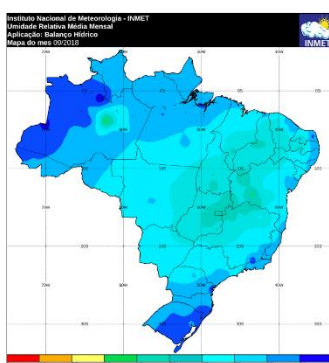
2015



2016



2017

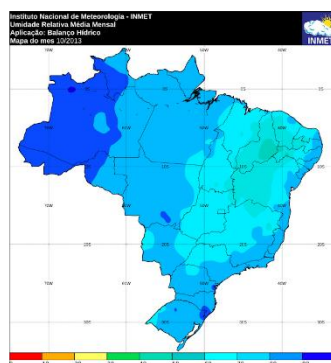


2018

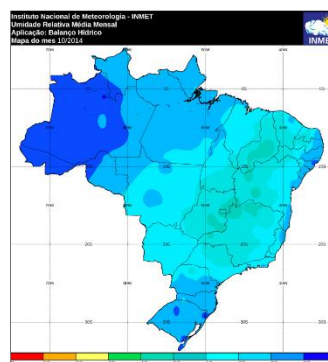
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



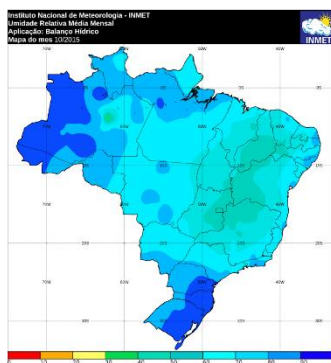
Umidade - Outubro



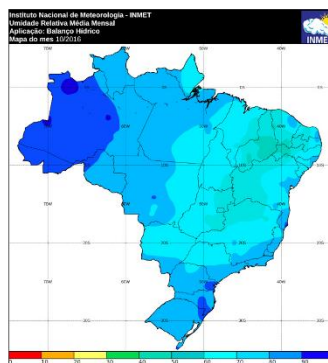
2013



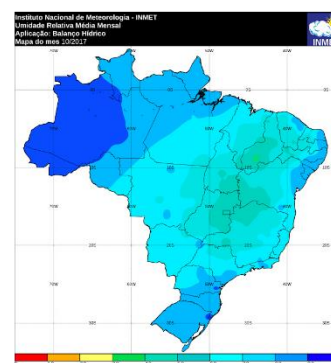
2014



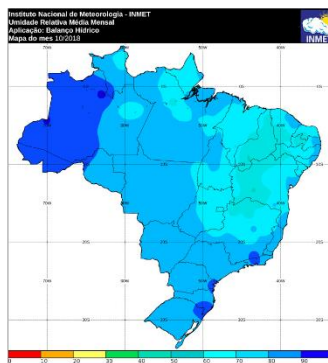
2015



2016



2017

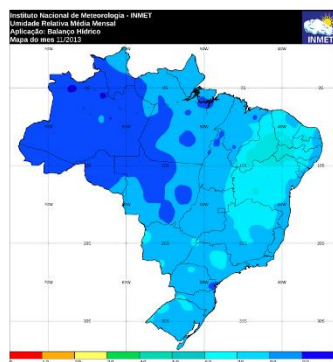


2018

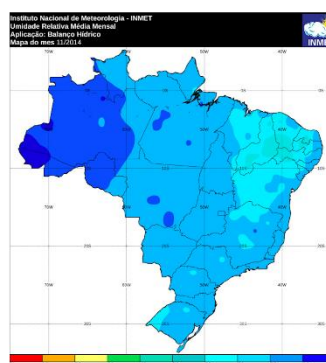
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



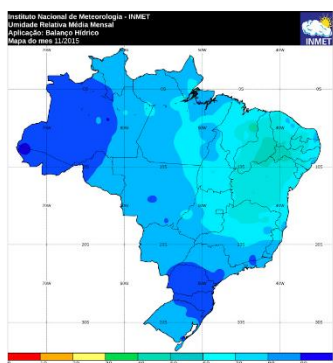
Umidade - Novembro



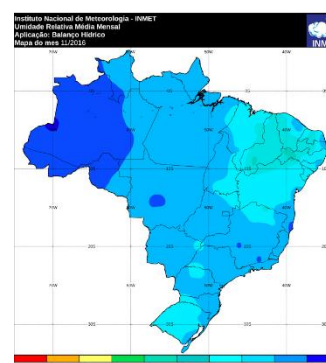
2013



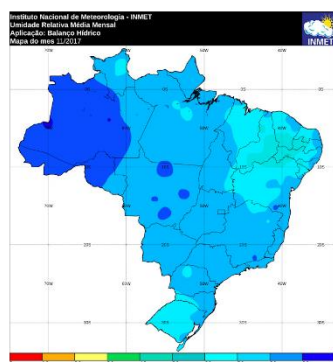
2014



2015



2016



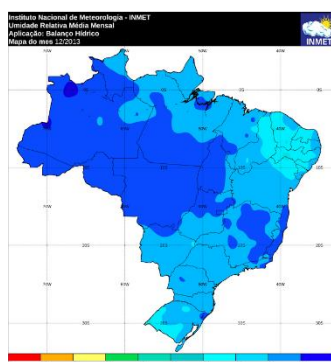
2017



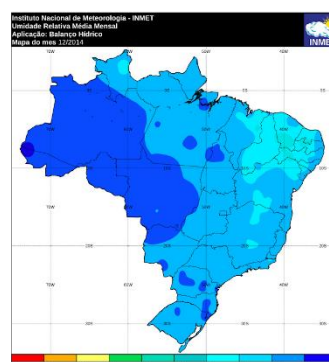
2018

Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

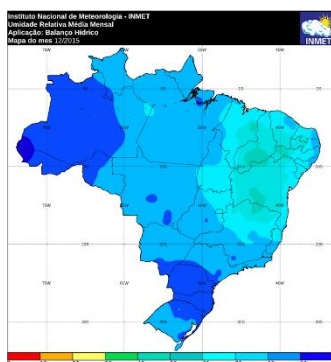
Umidade - Dezembro



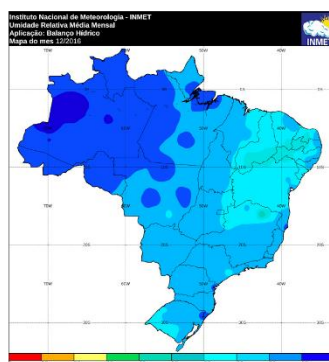
2013



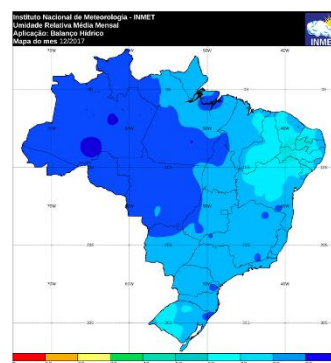
2014



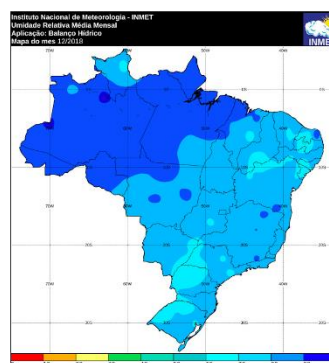
2015



2016



2017



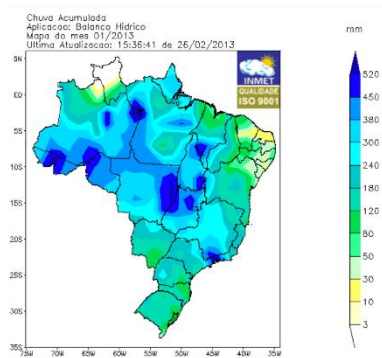
2018



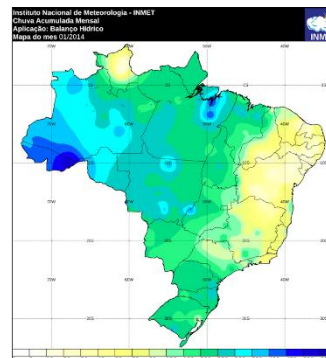
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

ANEXO G - Dados dos boletins mensais do INMET para os dados agroclimáticos do Brasil Precipitação

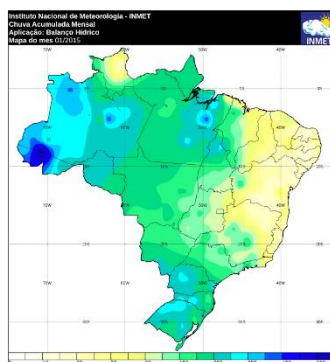
Precipitação Acumulada - Janeiro



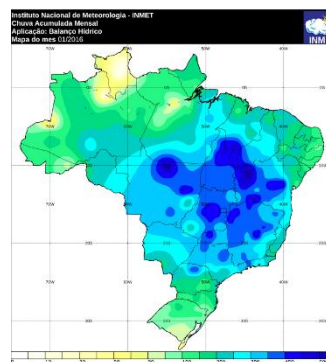
2013



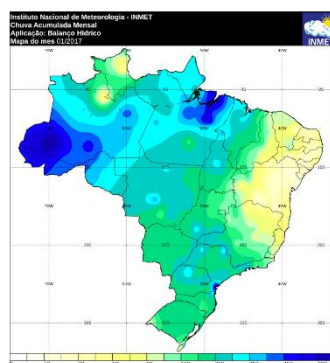
2014



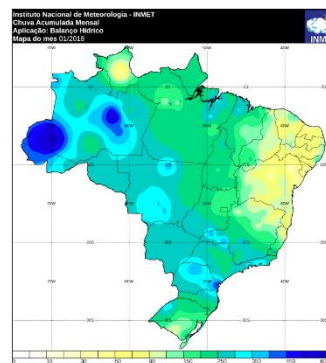
2015



2016



2017

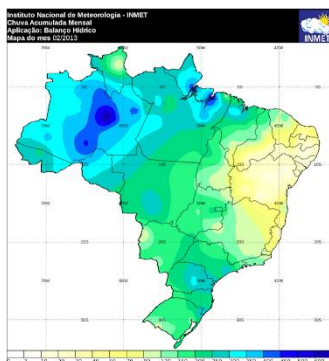


2018

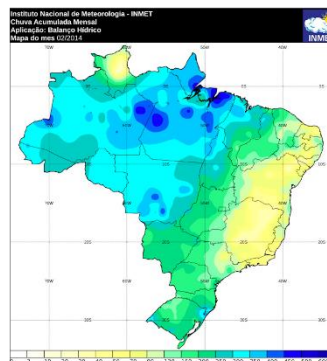


Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

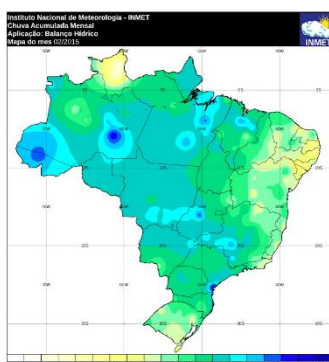
Precipitação Acumulada - Fevereiro



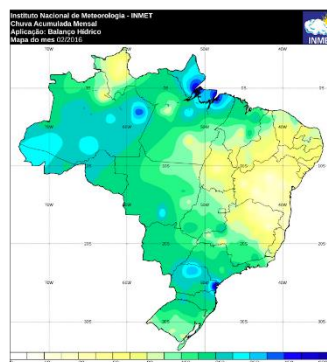
2013



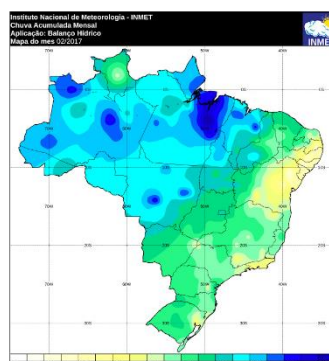
2014



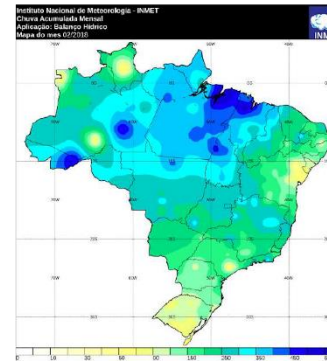
2015



2016



2017

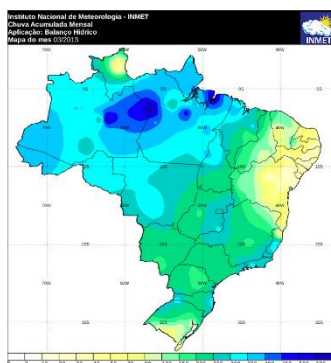


2018

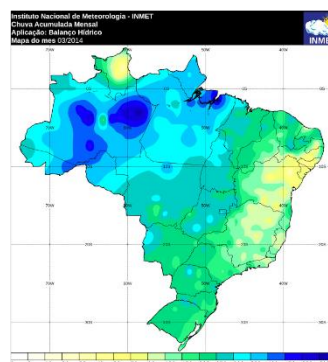
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



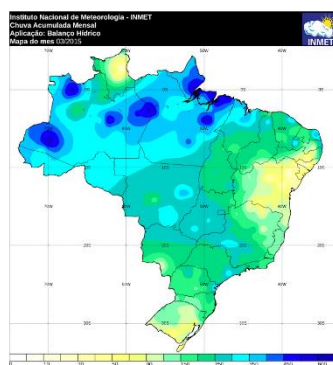
Precipitação Acumulada - Março



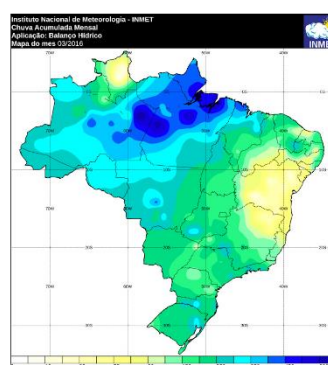
2013



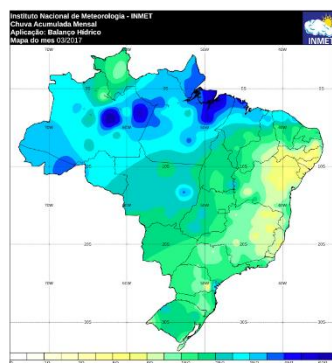
2014



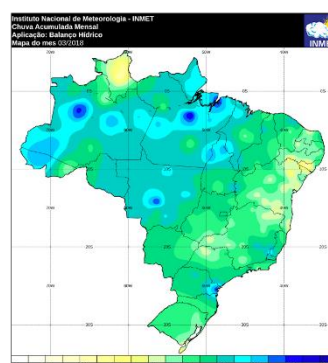
2015



2016



2017

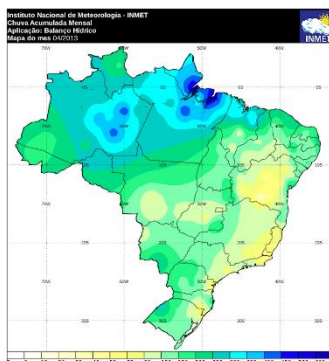


2018

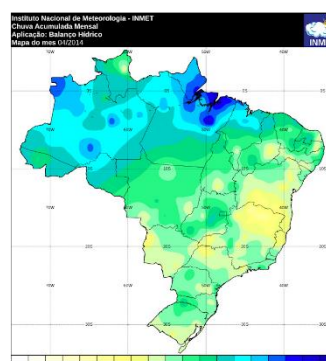


Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

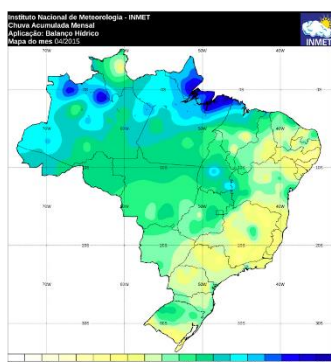
Precipitação Acumulada - Abril



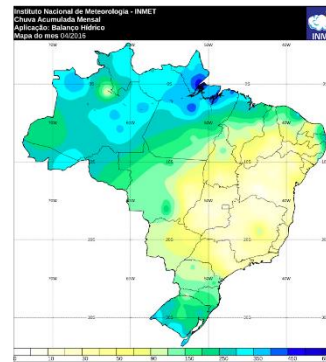
2013



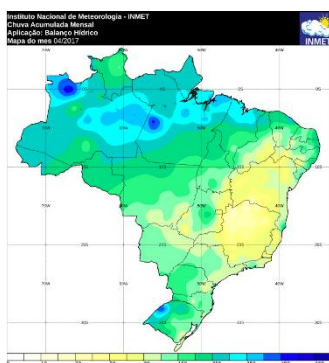
2014



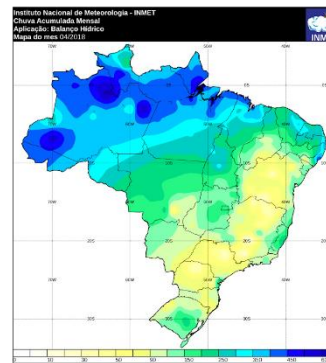
2015



2016



2017

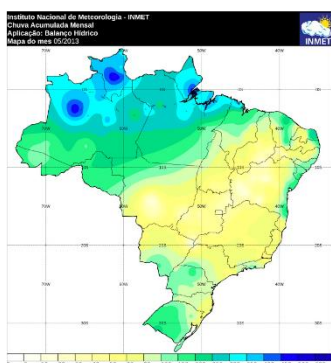


2018

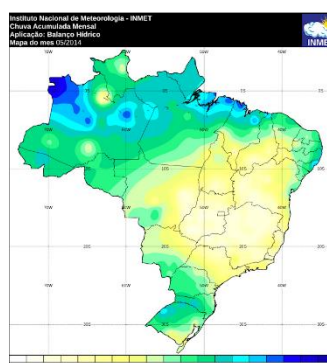


Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

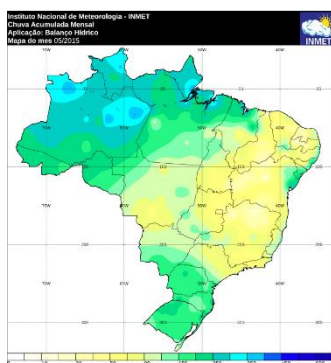
Precipitação Acumulada - Maio



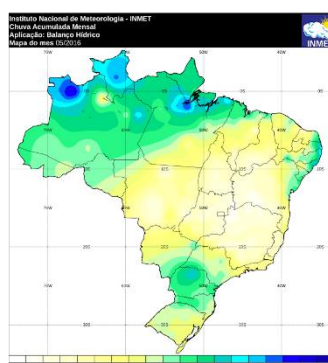
2013



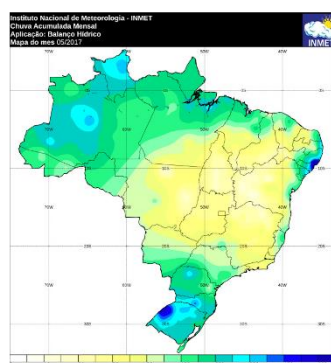
2014



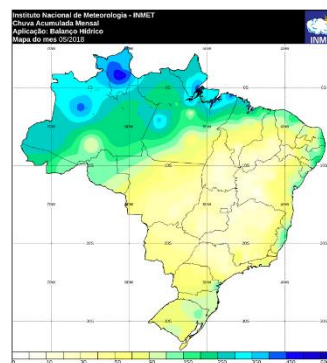
2015



2016



2017

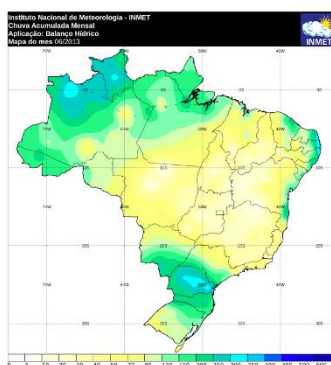


2018

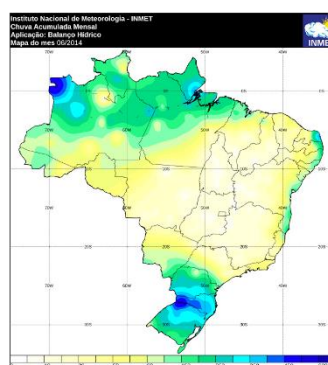
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



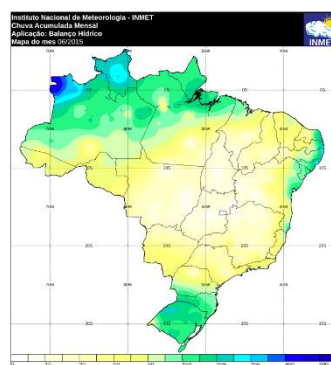
Precipitação Acumulada - Junho



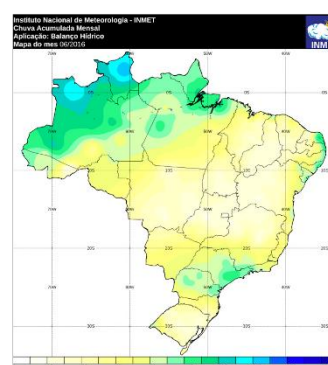
2013



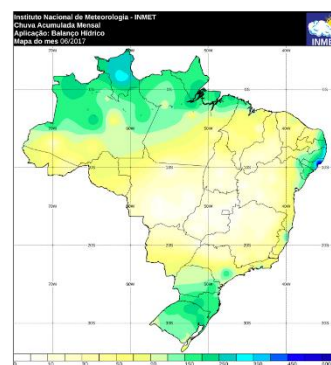
2014



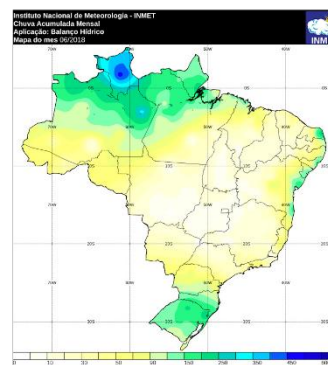
2015



2016



2017

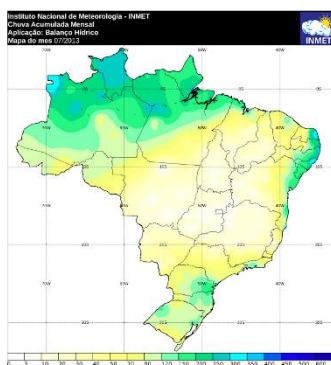


2018

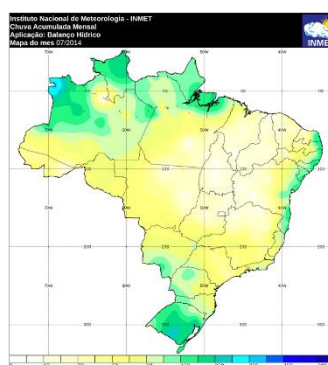
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



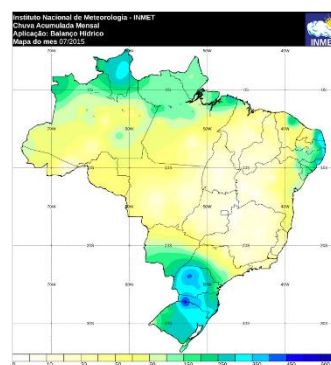
Precipitação Acumulada - Julho



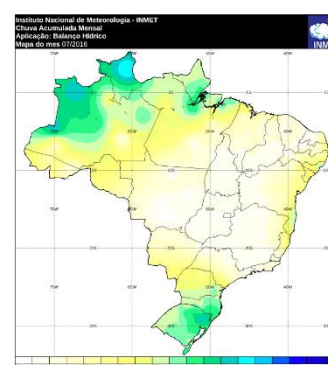
2013



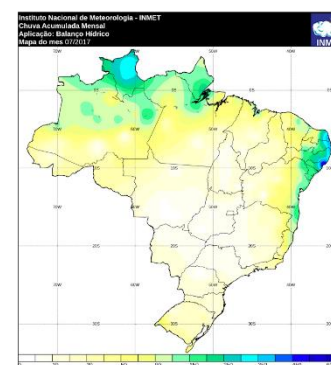
2014



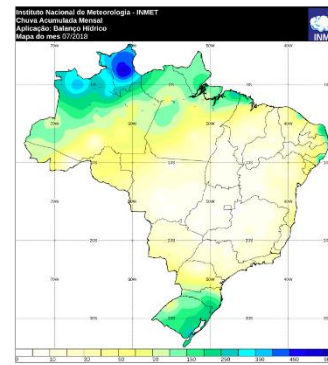
2015



2016



2017

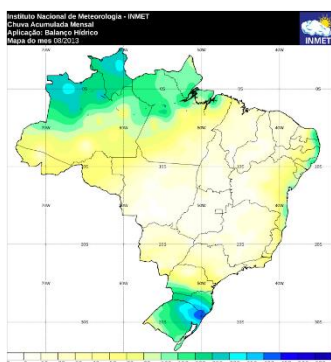


2018

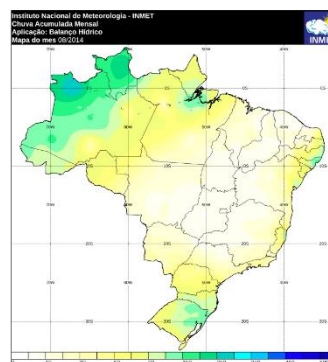


Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

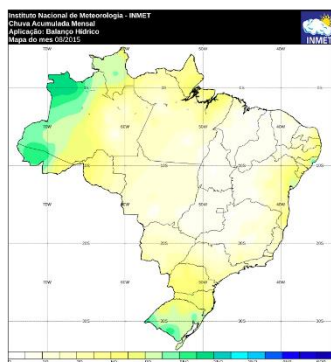
Precipitação Acumulada - Agosto



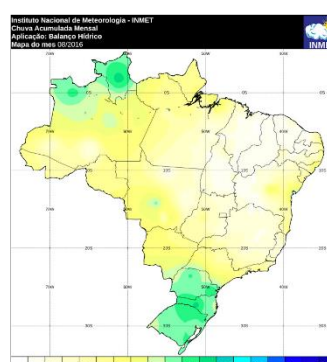
2013



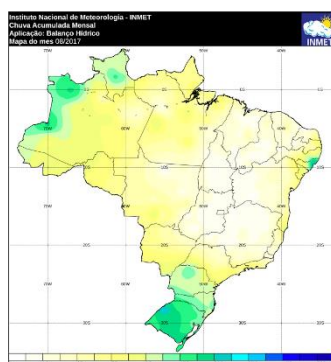
2014



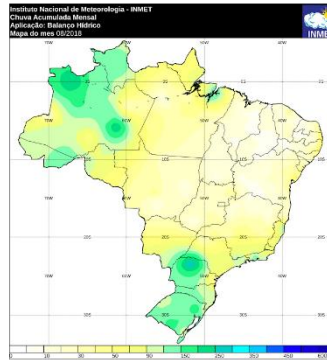
2015



2016



2017

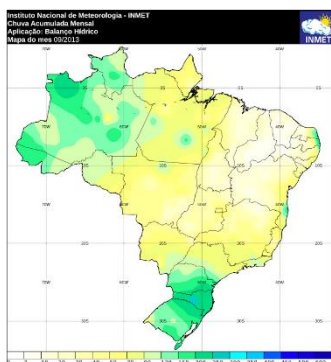


2018

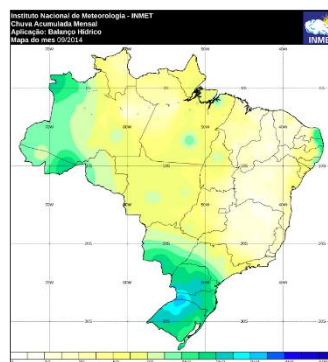
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



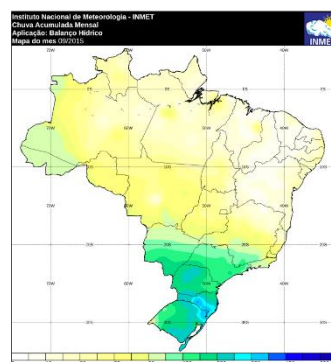
Precipitação Acumulada - Setembro



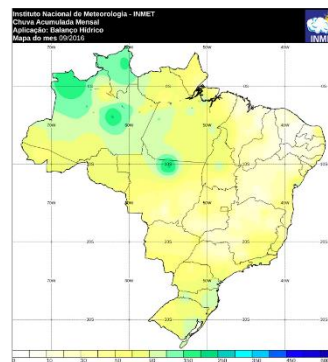
2013



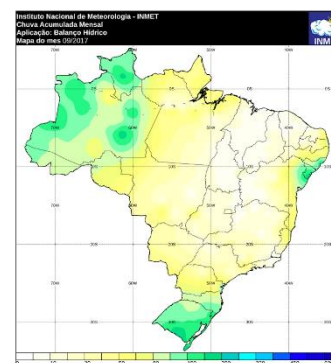
2014



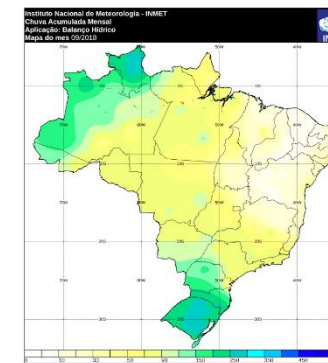
2015



2016



2017

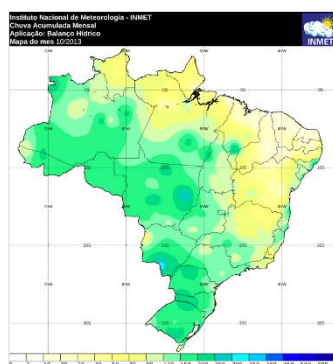


2018

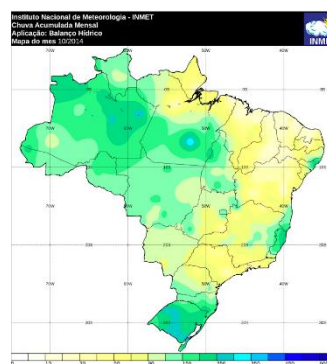
Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>



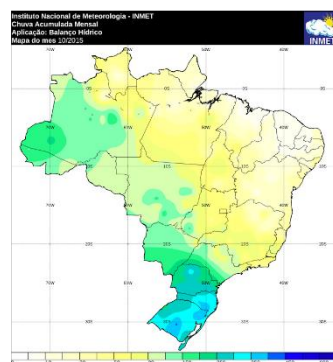
Precipitação Acumulada - Outubro



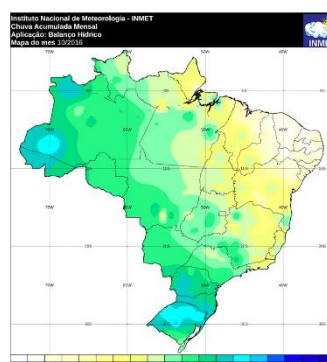
2013



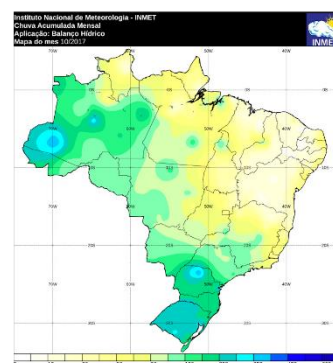
2014



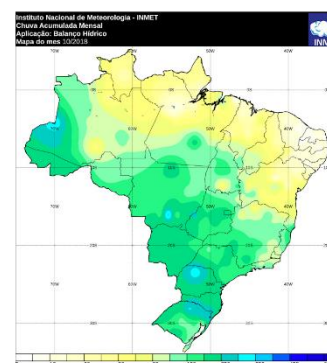
2015



2016



2017

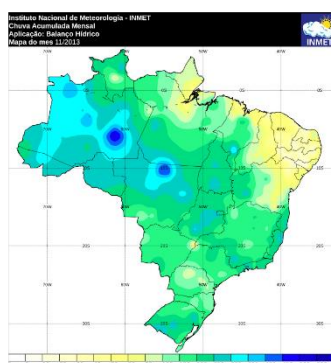


2018

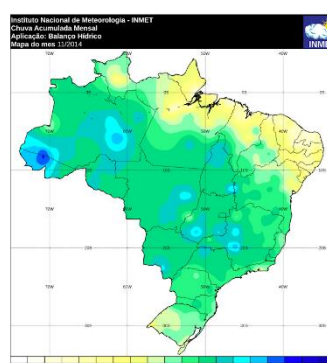


Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

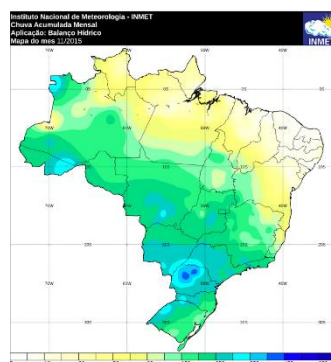
Precipitação Acumulada - Novembro



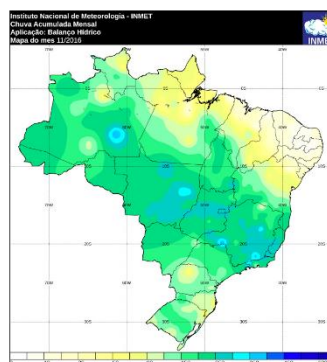
2013



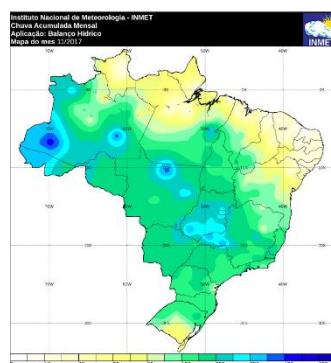
2014



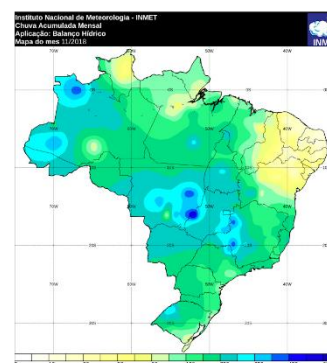
2015



2016



2017

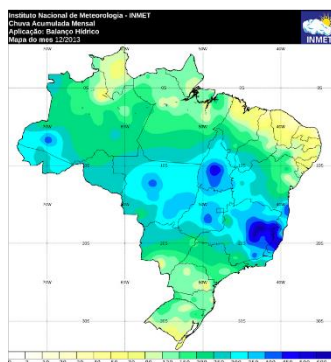


2018

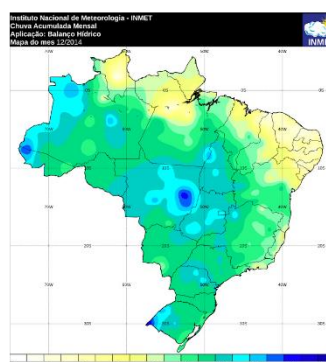


Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

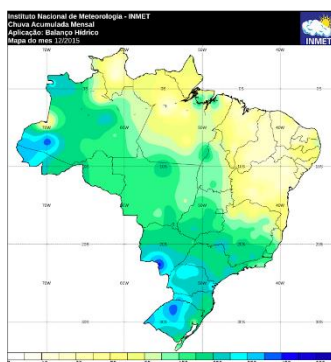
Precipitação Acumulada - Dezembro



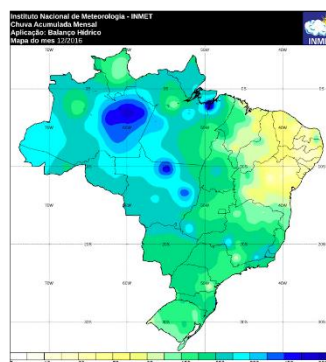
2013



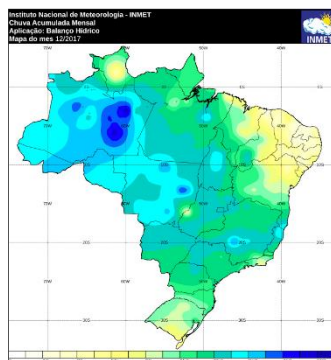
2014



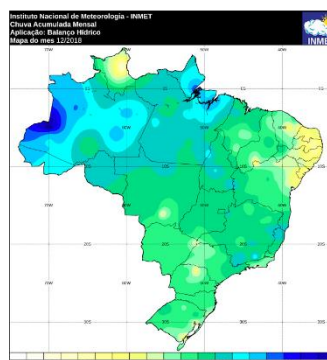
2015



2016



2017



2018



Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>

ANEXO H – Valores estimados de volume, biomassa de carbono por bioma



Recursos Florestais - Estoque das Florestas

Tabela: Valores estimados de volume, biomassa e carbono, por bioma, fitofisionomia e hectare.

Bioma	Fitofisionomia	Volume médio (m³/ha)	Biomassa (ton/ha)		Carbono (ton/ha)		
			Acima do Solo	Abaixo do Solo	Acima do Solo	Abaixo do Solo	Solo
Amazônia	Floresta Ombrófila Densa (Floresta Tropical Pluvial)	315,45	333,25	63,35	174,40	29,77	48,30
	Floresta Ombrófila Aberta	272,30	295,96	57,00	139,10	26,79	46,30
	Floresta Estacional (Sazonal) Decidua (Floresta Tropical Caducifólia)	254,63	241,90	48,20	113,69	22,65	34,90
	Floresta Estacional (Sazonal) Semidecidual (Floresta Tropical Subcaducifólia)	265,86	252,57	50,23	118,71	23,61	41,30
	Campinarana Gramíneo-Lenhosa (Campina da Amazônia)	6,35	12,06	6,75	5,67	3,17	59,80
	Savana Florestada (Cerradão)	77,59	51,21	92,61	24,07	43,53	34,20
	Savana Estépica Florestada	30,11	19,87	40,33	9,34	18,96	31,40
	Savana Estépica Arborizada	5,81	11,04	19,96	5,19	9,38	38,10
	Savana Arborizada (Campo Cerrado, Cerrado Ralo, Cerrado Típico e Cerrado Denso)	42,73	28,20	40,21	13,25	18,90	34,60
	Savana Parque	6,34	12,06	30,62	4,82	12,25	34,00
	Savana Gramíneo-Lenhosa (Campo-Limpo-de-Cerrado)	4,19	7,96	18,76	3,74	8,82	32,80
	Savana Estépica Gramíneo-Lenhosa (Savanas secas e/ou úmidas: Caatinga)	1,49	2,84	5,13	1,33	2,41	38,10
	Savana Estépica parque	3,36	6,39	11,55	2,56	4,62	34,90
	Vegetação Secundária	175,60	60,03	12,01	50,31	5,64	-
Mata Atlântica	Floresta Ombrófila Densa (Floresta Tropical Pluvial)	92,78	132,95	31,91	63,50	15,00	48,70
	Floresta Ombrófila Aberta	92,78	132,95	31,91	63,50	15,00	48,41
	Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucária)	97,00	73,72	14,74	34,65	6,93	85,90
	Floresta Estacional (Sazonal) Decidua (Floresta Tropical Caducifólia)	77,75	125,66	30,16	59,06	14,17	35,36
	Floresta Estacional (Sazonal) Semidecidual (Floresta Tropical Subcaducifólia)	136,55	110,75	20,76	48,78	9,76	38,50
Cerrado	Floresta Estacional (Sazonal) Semidecidual (Floresta Tropical Subcaducifólia)	162,79	134,58	32,30	63,25	15,18	39,58
	Savana Florestada (Cerradão)	114,40	75,50	21,14	35,49	9,94	37,02
	Savana Arborizada (Campo Cerrado, Cerrado Ralo, Cerrado Típico e Cerrado Denso)	20,12	13,28	38,39	6,24	18,04	37,02
	Savana Parque (Campo-Sujo-de-Cerrado, Cerrado-de-Pantanal, Campo de Murunduns ou Covoal e Campo Rupestre)	7,88	5,20	20,91	2,44	9,83	37,02
	Savana Gramíneo-Lenhosa (Campo-Limpo-de-Cerrado)	7,88	5,20	20,91	2,44	9,83	32,90
Caatinga	Savana Estépica Florestada	91,60	60,46	13,53	28,41	6,36	22,88
	Savana Estépica Arborizada	43,01	34,41	8,85	16,17	4,16	22,88
	Savana Estépica Gramíneo-Lenhosa	28,99	28,99	5,88	13,63	2,76	25,40
	Savana Estépica Parque	30,28	21,44	5,79	10,08	2,72	22,90
Pantanal	Floresta Estacional (Sazonal) Semidecidual (Floresta Tropical Subcaducifólia)	273,17	163,90	39,34	77,03	18,49	41,45
Pampa	Estepe Arborizada (Arbórea Aberta)	0,37	0,22	0,26	0,10	0,12	59,03
	Estepe Gramíneo-Lenhosa (Campo Limpo)	0,37	0,22	0,26	0,10	0,12	57,64

Fonte: SNIF (2020)

ANEXO I - Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas

Utilização ou cobertura do solo		A	B	C	D
Zonas cultivadas	sem conservação do solo	72	81	88	91
	com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos baldios	más condições	68	79	86	89
	boas condições	39	61	74	80
Prado	boas condições	30	58	71	78
Bosque ou zonas florestais	cobertura ruim	45	66	77	83
	cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados parques, campos de golf, cemitérios	Boas condições com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
	Boas condições com relva de 50% a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais lotes (m ²)	% média impermeável				
<500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc		98	98	98	98
	asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Arruamentos e estradas	Paralelepípedos	76	85	89	91
	Terra	72	82	87	89

Fonte: Adaptado de Tucci et al (2012)

ANEXO J -Dados públicos de outorga fornecidos pelo IGAM (2020) para os anos de 2013 a 2018

Portaria	Data de Publicação	Regional	Cidade	Modo de Uso	Latitude	Longitude	Vazão
01575/2013	08/07/2013	Alto São Francisco	Itaúna	Consumo humano, higienização, irrigação de jardins e lavagem de veículos,	20°04'43"S	44°33'58"W	14,80
00027/2013	09/01/2013	Central Metropolitana	Igarapé	Consumo humano	20°06'49,8"S	44°18'25"W	9,00
00028/2013	09/01/2013	Central Metropolitana	Igarapé	Consumo industrial	20°07'09" S	44°17'26"W	6,00
00029/2013	09/01/2013	Central Metropolitana	Igarapé	Consumo industrial	20°07'05"S	44°17'09"W	74,90
00030/2013	09/01/2013	Central Metropolitana	Igarapé	Consumo industrial	20°06'54,8"S	44°16'48,3"W	18,00
00031/2013	09/01/2013	Central Metropolitana	Igarapé	Consumo industrial	20°07'01,2"S	44°17'36,9"W	17,5
00032/2013	09/01/2013	Central Metropolitana	Igarapé	Consumo industrial	20°07'05"S	44°17'46,5"W	52,8
00994/2013	10/05/2013	Central Metropolitana	Igarapé	Consumo humano e irrigação de jardins	20°04'09"S	44°22'05"W	1,8
00993/2013	10/05/2013	Central Metropolitana	Mateus Leme	Consumo humano e irrigação de jardins	20°02'47"S	44°24'40"W	0,5
01757/2013	13/08/2013	Alto São Francisco	Mateus Leme	Transposição de corpo de água.	20°00'53"S	44°29'16"W	
01634/2013	17/07/2013	Central Metropolitana	Mateus Leme	Consumo humano	20°03'04"S	44°23'33"W	1,4
01160/2013	22/05/2013	Central Metropolitana	Mateus Leme	Consumo humano, dessedentação de animais e consumo agroindustrial,	20°00'01"S	44°24'53"W	6
00673/2016	06/04/2016	Central Metropolitana	Igarapé	Consumo humano, irrigação de áreas verdes, recreação e limpeza geral,	20°02'48,5"S	44°20'55,8"W	6,7
00487/2016	16/03/2016	Central Metropolitana	Juatuba	Consumo humano e industrial	19°56'35"S	44°19'03"W	13,6
03846/2017	01/12/2017	Central Metropolitana	Juatuba	Consumo humano, industrial e paisagismo	19°56'33,44" S	44°19'12,97"W	14
04038/2017	13/12/2017	Central Metropolitana	Mateus Leme	Consumo humano, industrial e irrigação de jardinagem	19°58'57"S	44°23'55"W	1,22
00665/2017	20/02/2017	Central Metropolitana	Igarapé	Consumo humano e industrial	20°04'25,82"S	44°18'02,89"W	4,4

00761/2017	23/02/2017	Central Metropolitana	Igarapé	Consumo humano, dessedentação de animais, irrigação de jardins, horta e campo de futebol, paisagismo, aspersão de vias e limpeza em geral,	20°02'39,5"S	44°20'08,2"W	8,5
02355/2017	24/07/2017	Central Metropolitana	Mateus Leme	Consumo humano, paisagismo e recreação	19°55'59,85"S	44°27'15,99"W	25
02228/2018	21/05/2018	Central Metropolitana	Juatuba	Consumo humano e industrial	19°56'49,67"S	44°22'32,75"W	0,2
2229/2018	21/05/2018	Central Metropolitana	Juatuba	Consumo humano e industrial	19°56'57,35"S	44°22'40,92"W	0,5

Fonte: IGAM (2020)