



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutaí
Programa de Pós-Graduação em Conservação de
Recursos Naturais do Cerrado

**SENSORIAMENTO REMOTO TEMPORAL DA
CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE SOLOS
SOB DIFERENTES TIPOS DE USO, COBERTURA E
DECLIVIDADE NA BACIA DO RIO PRETO, OESTE
BAIANO**

ÍTALO RÔMULO MENDES DE SOUZA

Orientador(a): Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva

Coorientador(a): Prof. Dr. Edson Eyji Sano

Coorientador(a): Dr. Renato Paiva de Lima

Urutaí, Abril de 2020



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano

Reitor

Prof. Dr. Elias de Pádua Monteiro

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação e Inovação

Prof. Dr. Alan Carlos da Costa

Campus Urutaí

Diretor Geral

Prof. Dr. Paulo César Ribeiro da Cunha

Diretor de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva

**Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do
Cerrado**

Coordenador

Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva

Urutaí, Abril de 2020

ÍTALO RÔMULO MENDES DE SOUZA

**SENSORIAMENTO REMOTO TEMPORAL DA CAPACIDADE DE
SUPORTE DE CARGA DE SOLOS SOB DIFERENTES TIPOS DE USO,
COBERTURA E DECLIVIDADE NA BACIA DO RIO PRETO, OESTE
BAIANO**

Orientador(a)

Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva

Coorientador(a)

Prof. Dr. Edson Eyji Sano

Coorientador(a)

Dr. Renato Paiva de Lima

Dissertação apresentada ao Instituto Federal Goiano –
Campus Urutaí, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais
do Cerrado para obtenção do título de Mestre.

Urutaí (GO), 2020

Os direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

Ss Souza, Ítalo Rômulo Mendes de
Sensoriamento remoto temporal da capacidade de suporte de carga de solos sob diferentes tipos de uso, cobertura e declividade na Bacia do Rio Preto, Oeste Baiano / Ítalo Rômulo Mendes de Souza; orientador Anderson Rodrigo da Silva; co-orientador Edson Eyji Sano. -- Urutaí, 2020.
44 p.

Dissertação (em Programa de Pós Graduação - Conservação de Recursos Naturais do Cerrado) -- Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, 2020.

1. Bacias Hidrográficas. 2. Cerrado. 3. Compactação do solo. 4. SMAP. 5. Tensão de pré-consolidação. I. Silva, Anderson Rodrigo da , orient. II. Sano, Edson Eyji , co-orient. III. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 nº2376

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico | e Educacional - Tipo: |

Nome Completo do Autor: Ítalo Rômulo Mendes de Souza

Matrícula: 2018101330940110

Título do Trabalho: Sensoriamento remoto temporal da capacidade de suporte de carga de solos sob diferentes tipos de uso, cobertura e declividade na Bacia do Rio Preto, Oeste baiano

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 03/08/2020

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Formosa do Rio Preto-BA, 27/07/2020.

Local Data



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

FOLHA DE APROVAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Título da dissertação: Sensoriamento remoto temporal da capacidade de suporte de carga de solos sob diferentes tipos de uso, cobertura e declividade na bacia do Rio Preto, Oeste Baiano

Orientador: Anderson Rodrigo da Silva

Coorientadores: Edson Eyji Sano e Renato Paiva de Lima

Autor: Ítalo Rômulo Mendes de Souza

Dissertação de Mestrado **APROVADA** em **30** de **abril** de **2020**, como parte das exigências para obtenção do Título de **MESTRE EM CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS DO CERRADO**, pela Banca Examinadora especificada a seguir:

Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva - Orientador
Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí

Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva
Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí

Profa. Dra. Bruna de Freitas Iwata
Instituto Federal do Piauí

Prof. Dr. Renato Paiva de Lima - Coorientador
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Documento assinado eletronicamente por:

- Bruna de Freitas Iwata, PROFESSORA AVALIADORA DE BANCA, em 05/05/2020 15:52:20.
- Renato Paiva de Lima, PROFESSOR AVALIADOR DE BANCA, em 30/04/2020 14:04:55.
- Daniel de Paiva Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 30/04/2020 14:00:57.
- Anderson Rodrigo da Silva, DIRETOR - CD3 - DPGPI-UR, em 30/04/2020 13:59:22.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 29/04/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 136002
Código de Autenticação: 92131f7aac



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Urutaí
Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2,5, Zona Rural, None, URUTAI / GO, CEP 75790-000
(64) 3465-1900

“Uma teoria é sempre provisória, no sentido de que é apenas uma hipótese, nunca será provada. Não importa quantos resultados de experimentos justificam a teoria, você nunca estará certo de que numa outra vez o resultado não contrariará a teoria.”

(Stephen Hawking)

AGRADECIMENTOS

Nenhuma conquista é individual, de modo que por trás de todo o trabalho existe um apoio coletivo, sem o qual nada seria possível. Meus agradecimentos se iniciam por Deus, Ele que nos permite o dom da vida e nos faz sentir capaz e determinado ao longo da caminhada nos dando a cada dia uma nova chance de fazer tudo de forma diferente.

Aos meus avós, Magnólia Matos de Souza e José Ribeiro de Souza, em quem encontro minha base e são as pessoas que desde sempre depositam confiança e me incentivam em busca das minhas realizações sejam elas pessoais, profissionais ou acadêmicas.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí pela oportunidade de desenvolver esta dissertação e ao quadro de professores do programa de Pós Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado (PPG-CRENAC) pelos ensinamentos e contribuições.

De forma mais que especial e fraterna aos meus orientadores: Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva, Prof. Dr. Edson Eyji Sano e Prof. Dr. Renato Paiva de Lima, que me apoiaram para a realização desta pesquisa, confiaram em mim e realmente me fizeram ser uma pessoa capaz. São pessoas com quem aprendi e me espelho em todos enquanto profissionais e serei muito grato por participarem desta etapa acadêmica.

Wandra Ferreira, pessoa a quem devo muito por toda ajuda, cuidado e pela sua importância, com quem tanto já ri e já me angustiei neste período, mas nela via a serenidade que tudo iria passar e eu iria conseguir.

Ao corpo diretivo do Colégio Estadual Nossa Senhora Aparecida (CENSA) e Centro Territorial de Educação Profissional – Vale do Rio Preto (CETEP) que tiveram a sensibilidade das liberações no período do cumprimento dos créditos e na escrita da dissertação, pela confiança depositada para a minha qualificação profissional e por todo reconhecimento.

A todos os meus verdadeiros amigos, que pelas palavras mais simples que fossem eu encontrava um conforto. Até mesmo aqueles que não compreendiam o meu propósito. Aos meus colegas que fiz no Crenaxs' parcerias que valerão para a vida toda. Aqueles que eram amigos e se tornaram mais que isso ao buscar juntos o mesmo objetivo de nos tornar mestres e que considero como irmãos: Anaian Antunes, Rômulo Vargas e Temístocles Pacheco. Pessoas com as quais percorri mais de 30.000 km nessas idas e vindas ao Goiás, mas que com elas faria tudo novamente. Em meio a tantos, especialmente um, gostaria que um ainda estivesse

entre nós, Heiko Jackson, meu irmão, (*In memoriam*) que sinto muita falta, mas está ao lado do Pai olhando por nós e vibrando pela conquista junto comigo.

Ao grande amigo que fiz ao longo dessa caminhada que sempre esteve prontamente a ajudar, debater sobre ideias, e sempre solícito, contribuindo grandemente: Jenilton Gomes da Universidade Estadual do Piauí – *Campus* Cinobelina Elvas.

Ao laboratório de Biofísica da Embrapa Cerrados / Planaltina-DF na pessoa do Heleno Bezerra e Thaise Lopes por todo o suporte quanto ao tratamento dos dados de satélites e técnicas aplicadas ao sensoriamento remoto.

A banca em nome do Prof. Dr. Daniel Paiva e Profa. Dra. Bruna de Freitas Iwata pela disponibilidade e valiosas contribuições buscando a melhoria da pesquisa realizada.

A todos que contribuíram de forma direta e indireta.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. MATERIAL E MÉTODOS	15
2.1. Caracterização da área de estudo	15
2.2. Aquisição de cenas	17
2.3. Delimitação da área de estudo (Bacia do Rio Preto)	17
2.4. Pré-processamento de cenas	18
2.5. Processamento de cenas (Classificação supervisionada).....	18
2.6. Pós-Processamento (Validação da classificação)	20
2.7. Dados físicos do solo	20
2.8. Determinação da Capacidade de Suporte de Carga (CSC).....	21
2.9. Análises estatísticas	22
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
3.1. Capacidade de Suporte de carga do solo em diferentes tipos de uso e cobertura do solo	22
3.2. Capacidade de suporte de carga do solo em diferentes intervalos de declividade do solo	31
4. CONCLUSÃO	36
5. REFERÊNCIAS	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo, Bacia Hidrográfica do Rio Preto, Oeste baiano. ...	16
Figura 2. Fluxograma de procedimentos metodológicos para capacidade de suporte de carga da Bacia do Rio Preto, Oeste baiano.	21
Figura 3. Intervalos de 95% de confiança para a média da capacidade de suporte de carga do solo de acordo com o tipo de uso e cobertura da BHRP nos anos 2016: Cap (A), Ffs (B) e Fcp (C), 2017 Cap (D), Ffs (E) e Fcp (F) 2018 Cap (G), Ffs (H) e Fcp (I) 2019: Cap (J), Ffs (K) e Fcp (L).	28
Figura 4. Capacidade de suporte de carga de usos e cobertura anual (2016-2019) na BHRP.	30
Figura 5. Capacidade de suporte de carga de uso e cobertura da BHRP, período seco e chuvoso, (2016-2019).	31
Figura 6. Intervalos de 95% de confiança para a média da capacidade de suporte de carga do solo em classes de declividade para os anos 2016: 0 a 8% (A), 8,1 a 20% (B) e > 20% (C), 2017: 0 a 8% (D), 8,1 a 20% (E) e > 20% (F), 2018: 0 a 8% (G), 8,1 a 20% (H) e > 20% (I), 2019: 0 a 8% (J), 8,1 a 20% (K) e > 20% (L).	35

SENSORIAMENTO REMOTO TEMPORAL DA CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE SOLOS SOB DIFERENTES TIPOS DE USO, COBERTURA E DECLIVIDADE NA BACIA DO RIO PRETO, OESTE BAIANO

RESUMO

A pressão de pré-consolidação (σ_p) é considerada como um indicativo da capacidade de suporte de carga (CSC) que um solo pode tolerar em termos de pressões superficiais, em especial provenientes do tráfego agrícola. O objetivo deste trabalho foi realizar sensoriamento remoto temporal da capacidade de suporte de carga de solos da Bacia do Rio Preto, Oeste baiano, sob diferentes tipos de uso, cobertura e declividade. Utilizou-se cenas do satélite LANDSAT 8 (OLI) para classificação de uso e cobertura do solo por meio da classificação supervisionada e modelos de predição da capacidade de suporte de carga disponíveis na literatura especializada para solos brasileiros, em função do teor de argila (plataforma SoilInfo) e da umidade do solo por meio do satélite Soil Moisture Active Passive – SMAP, considerando um recorte temporal de 2016 a 2019, mensalmente. As estimativas de CSC para cada classe de uso e cobertura e declividade foram calculadas em intervalos de 95% de confiança para comparações estatísticas. Verificou-se variação de CSC tanto entre os meses quanto entre os anos, apontando uma tendência inversa da CSC em relação à umidade, em que se obtiveram os maiores valores no período seco em relação ao chuvoso, indicando influência da sazonalidade da região. As culturas anuais/pecuária alcançaram altos valores de CSC no ano 2017 podendo ter relação com a utilização intensificada de maquinário agrícola, adoção de sistemas de manejo do solo e pisoteio de animais de grande porte. Quanto aos níveis de declividade, áreas planas, entre 0 e 8%, foram as mais expostas a processos de modificações físicas pelos baixos valores quando comparados às demais classes declividades. Conclui-se que a CSC varia temporal e inversamente no que se refere a umidade do solo. As classes de uso e cobertura da BHRP apresentaram valores médios de 221,71 kPa para Culturas anuais/pecuária; 219,74 kPa para Formações campestres/pastagens e 218,86 kPa para Formações florestais/savânicas. Ao longo dos anos houve decréscimo geral da CSC nas classes estudadas Cap (4,08%), Fcp (0,38%) e Ffs (1,40%). Aumentos na declividade promovem aumento da CSC na bacia, da ordem de 1,06 kPa para cada 1% de declividade.

Palavras-chave: Bacias Hidrográficas, Cerrado, Compactação do solo, SMAP, Tensão de pré-consolidação.

TEMPORAL REMOTE SENSING OF SOIL LOAD – BEARING CAPACITY UNDER DIFFERENT TYPES OF USE, COVERAGE AND DECLIVITY THE BASIN OF RIVER OF BLACK , WESTERN BAHIA

ABSTRACT

The pre-consolidation pressure (σ_p) is considered as an indicator of the load-bearing capacity (LBC) that a soil can tolerate in terms of surface pressures, especially from agricultural traffic. The objective of this work was to perform remote temporal sensing of the load carrying capacity of soils in the River Black Basin, Western Bahia, under different types of use, coverage and slope. Scenes from the LANDSAT 8 (OLI) satellite were used to classify land use and land cover by means of supervised classification and load bearing capacity prediction models available in the specialized literature for Brazilian soils, depending on the clay content (platform SoilInfo) and soil moisture through the Soil Moisture Active Passive - SMAP satellite, considering a time frame from 2016 to 2019, monthly. The LBC estimates for each class of use and coverage and slope were calculated at 95% confidence intervals for statistical comparisons. There was a variation of LBC both between months and between years, pointing to an inverse trend of LBC in relation to humidity, in which the highest values were obtained in the dry period in relation to the rainy season, indicating the influence of the region's seasonality. The annual crops / livestock reached high values of LBC in the year 2017 and may be related to the intensified use of agricultural machinery, adoption of soil management systems and trampling of large animals. As for the levels of slope, flat areas, between 0 and 8%, were the most exposed to processes of physical changes due to the low values when compared to the other slope classes. It is concluded that the LBC varies over time and inversely when referring to humidity. The classes of use and coverage of BHRP presented average values of 221.71 kPa for annual crops / livestock; 219.74 kPa for rural / pasture formations and 218.86 kPa for forest / savanna formations. Over the years there was a general decrease in LBC in the studied classes Cap (4.08%), Fcp (0.38%) and Ffs (1.40%). Slope increases promote an increase in LBC in the basin, of the order of 1.06 kPa for each 1% slope.

Keywords: Hidrographic Basins, Cerrado, Soil compaction, SMAP, Pré-consolidation stress.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o Brasil se estabeleceu como uma grande potência agrícola global devido à incorporação intensificada de tecnologias e operações mecanizadas no processo de produção, permitindo a expansão da fronteira agrícola, especialmente em áreas do Cerrado (Severiano et al. 2013), a exemplo do que se observa na porção da região nordeste e parte da região norte do Brasil nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, denominada MATOPIBA, uma das regiões mais promissoras do agronegócio nacional, apresentando safras crescentes de grãos (EMBRAPA, 2019).

O Cerrado vem sendo alterado constante e negativamente (Santos et al. 2017), sendo as principais intervenções centradas nos processos de expansão na monocultura de grãos e pecuária extensiva, mediante a conversão de áreas nativas em áreas de atividades de produção (Castro e Silva, 2015; Silva, Silva e Silva 2016) por conta da aptidão de seus solos que apresentam excelentes atributos físicos quando apresentados em condições naturais (Jorge et al., 2012).

Apesar de a maioria apresentar baixa fertilidade natural e forte acidez, não constitui um obstáculo para atividades agrícolas quando há o processo de correção (Santos, Sano e Santos, 2018). O elevado grau de intemperismo lhe confere estabilidade estrutural, o que, aliado à topografia suavizada, favorece sobremaneira o seu manejo. Entretanto, quando submetidos a manejos incorretos tem-se observado sua degradação estrutural (Severiano et al., 2009; Bonfim-Silva et al., 2011). Dessa forma, torna-se necessário ter informações sobre o seu potencial de uso e danos provocados pelo os diferentes sistemas de manejo com o auxílio de indicadores que possibilite melhorar a sua qualidade física (Soares et al., 2016).

O comportamento físico-mecânico do solo pode ser compreendido por meio de indicadores. Assim, metodologias têm sido desenvolvidas (Rosa et al. 2011), a fim de estudar o comportamento compressivo do solo quando sujeitos a diferentes tipos de uso. Uma delas é a pressão de pré-consolidação (σ_p), também conhecida como capacidade de suporte de carga (CSC). Considerada como indicativo da capacidade em que solos podem tolerar em termos de pressões superficiais e que já suportou no passado e a máxima densidade que pode atingir. Portanto, a CSC tem sido utilizada para previsão de níveis de pressão as quais podem ser aplicadas no solo para diferentes conteúdos de água sem compactação adicional e para quantificar os efeitos das operações agrícolas na estrutura do solo (Guimarães Júnnyor et al. 2019).

Para Dias Júnior et al. (2004), quando se aplicam pressões superiores a pressão de pré-consolidação o solo sofre compactação, apresentando deformações plásticas ou irreversíveis. Por outro lado, em regiões onde as pressões estimadas são inferiores, há uma menor tendência de compactação, onde o solo sofre deformações pequenas, elásticas ou reversíveis. A respeito desta metodologia existem diversos relatos de aplicação como Iori, Dias Júnior e Silva (2012), aplicando em sub-bacias comparando

diferentes sistemas de manejo, Kamimura et al. (2012), em lavouras cafeeiras, Severiano et al. (2013), em Latossolos de vegetação nativa no sul Goiano, Ngolo et al. (2019) em Latossolos do Cerrado Mineiro durante 21 anos, e na literatura internacional com Schjønning e Lamandé (2018), em campos experimentais na Dinamarca.

Métodos tradicionais voltados para avaliação física do solo são, em geral, laboriosos. Demandam muito tempo em campo, recursos financeiros e análises laboratoriais para realização de ensaios de compressão para mediação da capacidade de suporte de carga de solos. Assim o desenvolvimento de técnicas alternativas para discriminar o comportamento mecânico e atributos do solo, a exemplo do sensoriamento remoto, têm tido grande apelo quando comparado às técnicas convencionais *in situ* por fornecerem dados rápidos, boa relação custo-benefício, monitoramento padronizado com dados em escala espaço-temporal a nível global de forma automatizada (Lausch, et al., 2019).

Vários trabalhos têm avaliado as condições físicas estruturais dos solos e umidade através de suas respostas espectrais por sensores como Mendes et al. (2019), Ma et al., (2017), Reichle, (2017), Demattê et al. (2016), Younis e Iqbal, (2015), Bezerra (2013), estudando a variabilidade espacial através de mapeamento da capacidade de suporte de carga, (Kamimura et al. 2020), mapeamento digital dos solos por Caten, Dalmolin e Ruiz (2013), estes alcançando bons resultados auxiliando sobretudo quanto ao seu manejo e conservação.

Apesar da diversidade de estudos voltados para a capacidade de suporte de carga em diferentes tipos de uso no do solo no Brasil, existe uma lacuna no que diz respeito os níveis de pressões em diferentes tipos de uso e manejo aplicados aos solos de bacias hidrográficas, especificamente no oeste baiano. Até o momento não se dispõe de informações sobre a capacidade de suporte de carga dos solos da bacia do Rio Preto.

A hipótese deste estudo é que há relação dos diferentes tipos de uso, cobertura e declividade da bacia quanto a sua qualidade física estrutural, em específico, quanto a variações temporais de capacidade de suporte de carga do solo. O objetivo deste trabalho foi realizar sensoriamento remoto temporal da capacidade de suporte de carga de solos da Bacia do Rio Preto, Oeste baiano, sob diferentes tipos de uso, cobertura e declividade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

O presente estudo foi realizado na bacia hidrográfica do Rio Preto (BHRP), com localização geográfica 45°12'8.55''O e 11° 3'37.01''S. Tem como principal curso d'água o Rio Preto, um importante afluente do rio Grande que também contribui diretamente com as águas da margem esquerda bacia do rio São Francisco em seu médio curso. Localiza-se no extremo oeste baiano e tem como tributários ao rio principal: rio Riachão, Sassafrás, Sapão e Ouro (INEMA, 2020). Limita-se com os Estados Tocantins e Piauí e drena os municípios de Formosa do Rio Preto – BA, Santa Rita de Cássia - BA, Mansidão – BA, Riachão das Neves – BA e Mateiros – TO, sendo compreendido predominantemente nas áreas dos três primeiros municípios citados (Figura 1).

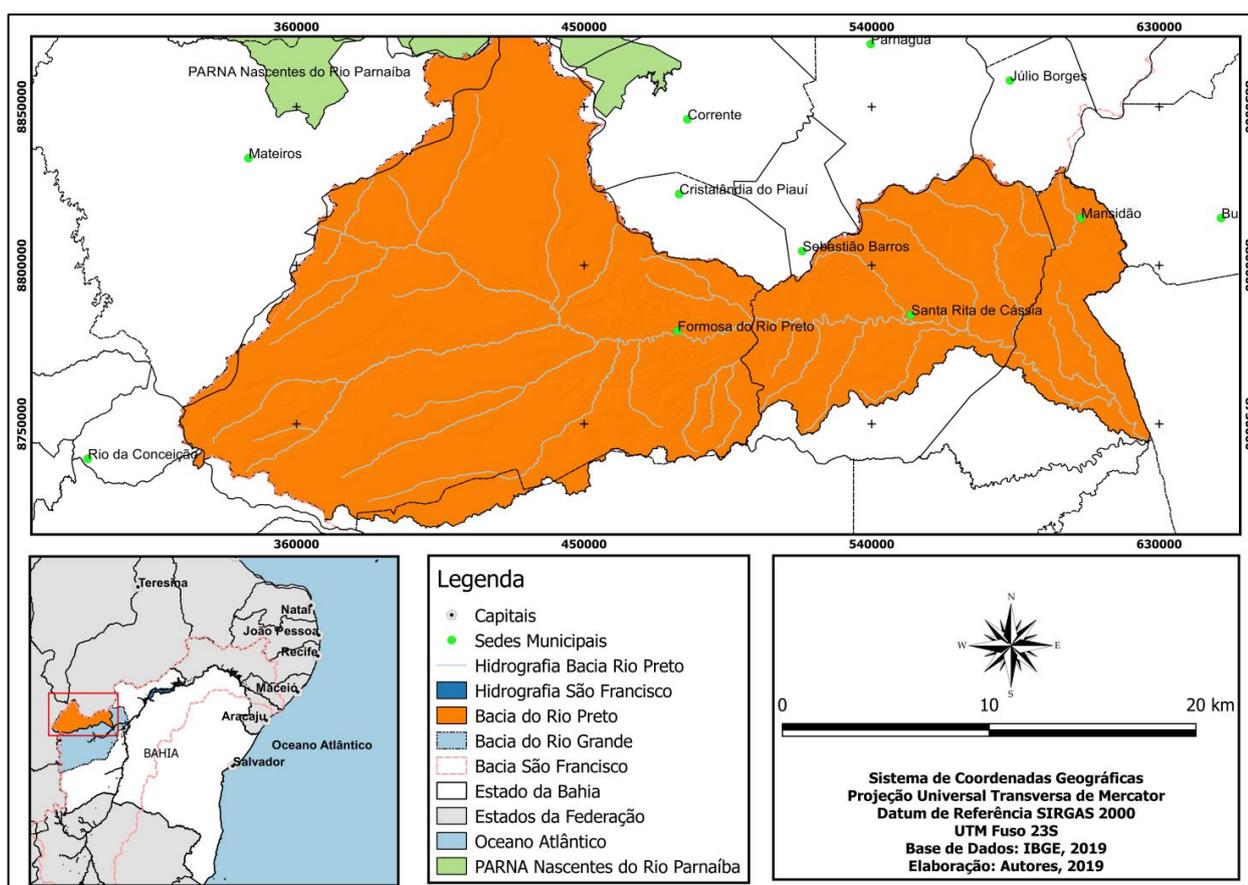


Figura 1. Localização da área de estudo, Bacia Hidrográfica do Rio Preto, Oeste baiano.

A BHRP possui uma área de 23.223 km². O clima da região, de acordo a classificação de *Koppen*, enquadra-se como Aw (tropical semi-úmido com chuvas de verão) com regimes pluviométricos bem definidos: um chuvoso, que se estende entre os meses de outubro a abril com maiores índices no mês de dezembro, e um seco, que se estende de maio a setembro, com período crítico de julho a setembro (Moreira e Silva, 2010). Ocorrem precipitações anuais superiores a 1700 mm no extremo oeste da região e valores mínimos de 800 mm (INEMA, 2020).

A vegetação da bacia encontra-se no domínio do Cerrado com fisionomias variando entre arbórea densa (Cerradão) a gramíneo-lenhosa (campos) (SDE, 2020). Os solos predominantes são classificados

como Latossolo-Amarelos, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos-Litólicos, Planossolos Hidromórficos, Argissolos Vermelho-Amarelo e Gleissolo Háptico (EMBRAPA, 2019). A composição textural média da BHRP se dá na ordem de: areia (60%) argila (23,5%) e silte (16,5%).

O relevo de plano a suave ondulado favorecem as práticas agrícolas e as boas produtividades das culturas sob agricultura intensiva e convencional estão entre os fatores favoráveis a essa expansão do cultivo na região com culturas predominantes de soja, milho, algodão e feijão. O preparo do solo é feito com uso de grades pesadas, arados, escarificadores ou subsoladores e grade niveladora. Em menor escala, há também sistemas de preparo do solo menos intenso, como na integração lavoura-pecuária e no plantio direto (Fontana et al., 2016).

Para delimitação de uso e cobertura da bacia, foram adotadas três classes sendo: 1 – Culturas Anuais/Pecuária; 2 – Formação Florestal/Savânica; 3 – Formação Campestre/Pastagem. Tendo em vista avaliar em diferentes categorias e seus efeitos nos aspectos físicos do solo, devido o potencial de a região apresentar aptidão agrícola para produção de grãos e práticas de pecuárias, bem como diversidade em fitofisionomias de vegetação nativa do Cerrado para comparativo das CSC mensal entre os anos 2016 a 2019.

2.2. Aquisição de cenas

Para classificação, foram utilizadas cenas do sensor *Operational Terra Imager (OLI)*, satélite LANDSAT 8 (a) para o ano de 2018, com uma resolução espacial de 30m² e capacidade de revisita a mesma área a cada 16 dias (USGS, 2020). Coletou-se cenas nos pontos e orbitas (219/067, 219/068, 220/067, 220/068, 221/067, 221/068) (b) todas disponibilizadas no repositório do *United States Geological Survey (USGS)*.

Obteve-se cenas com pouca ou nenhuma quantidade de nuvens e menor intervalo de tempo para reduzir as diferenças fenológicas e atmosféricas (Grecchi et al., 2016). Dessa forma definiu-se um intervalo temporal para aquisição de cenas de trinta dias entre os meses de junho e julho, priorizando imagens sem cobertura de nuvens e referente ao período de estiagem da região.

2.3. Delimitação da área de estudo (Bacia do Rio Preto)

Para a delimitação da bacia, adquiriu-se dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) também no repositório do *USGS*, referente a missão SRTM – TOPODATA (c) (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução de 1 arco de segundo (d) ou (30 x 30 metros, aproximadamente).

Para extração da bacia do Rio Preto foi utilizado o software *Qgis 3.4 Madeira* (QGIS-project.org), fazendo uso da extensão *Terrain Analysis Using Elevation Model – TauDEM* (e), este contendo um

conjunto de ferramentas que possibilitam a delimitação de bacia de modo automatizado, que consiste quatro etapas segundo (Tarboton, 2020):

(1) Correção do Modelo Digital de Elevação para remoção de pixels que poderiam comprometer a continuidade do fluxo da água (ferramenta *Fill Pit*)(f);

(2) Determinação da direção preferencial do fluxo na superfície (*D8 Flow Direction*) a qual define o fluxo, pixel a pixel em apenas uma direção dentro de oito possíveis caminhos em relação aos pixels vizinhos (g);

(3) Obtenção do fluxo acumulado na superfície ferramenta (*D8 Contributing Area*) que consiste na representação da linha composta pelos pixels selecionados na etapa anterior e nesta etapa já é possível definir o exultório da bacia, obtendo em seguida a área de contribuição a montante deste ponto (h);

(4) Obtenção da bacia em formato *raster* – ferramenta (*Stream Reach and Watershed*) neste passo foi possível também a extração da rede de drenagem numérica para a área de estudo. Como a bacia é obtida em um arquivo *raster*, faz-se necessário a sua conversão para o formato vetorial (i).

2.4. Pré-processamento de cenas

Para minimizar os efeitos que a atmosfera causa devido a fenômenos de espalhamento, absorção e refração da energia eletromagnética afetando a radiância refletida por materiais da superfície que é captada pelo sensor (Sanches et al., 2011), as imagens foram submetidas a procedimentos de pré-processamento para transformar os valores de Números Digitais (ND) para valores físicos como radiância e reflectância (l). Para tanto, os procedimentos foram executados no software *Qgis 3.4 Madeira* utilizando o complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (j) (SPC) a partir do método *Dark Object Subtraction* (DOS) (k).

Para Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012), quando se trabalha com imagens em series temporais é necessário este tipo de procedimento. As cenas apresentavam projeções para o norte verdadeiro no momento da sua aquisição, sendo todas reprojatadas para o Sistema Universal Transversa de Mercator, DATUM SIRGAS 2000, fuso/zona 23S. Para a junção das cenas vizinhas dada a extensão da área de estudo, realizou-se o processo de mosaico para cada uma das bandas espectrais unindo as cenas que contemplam o espaço geográfico da área de estudo.

2.5. Processamento de cenas (Classificação supervisionada)

As cenas foram classificadas com base no algoritmo de Máxima Verossimilhança (MAXVER) (m), levando em consideração informações espectrais de cada pixel para identificação de regiões

homogêneas para se utilizar como amostra de treinamento. As amostras selecionadas são utilizadas para o treinamento do analista, classificando os alvos de acordo as classes ou grupos de interesses a serem estudados (Meneses e Almeida, 2012).

Foram selecionadas amostras representativas do comportamento espectral de diversos tipos de uso e cobertura do solo a ser analisado, amostras estas que treinam o algoritmo de classificação para mapeamento das classes. Assim levou em consideração informações espectral de cada pixel, para que se identificassem as regiões homogêneas para se utilizar como amostras de treinamento (Jensen, 2005), também se levou em conta ponderações de distâncias entre médias dos níveis de cinzas das classes. Esse método foi escolhido devido sua eficácia, pois as classes de treinamento são utilizadas para estimar a forma da distribuição de pixels contidos em cada classe (Meneses e Almeida, 2012).

Para a interpretação das imagens, utilizou-se a composição colorida RGB: Red – banda 6, Green – banda 5 e Blue – banda 4 do satélite LANDSAT 8 (OLI), sendo tais combinações adequadas para obter o contraste procurado visando diferenciação e identificação dos alvos na área de estudo. Nesse caso, utilizaram-se como critérios de identificação os principais elementos de interpretação, como cor, textura, forma e padrão das áreas (Jensen, 2009), para auxiliar na classificação. Dessa forma usou-se as bandas e seus respectivos comprimentos de ondas: B2 - azul (0.450 – 0.515 μm), B3 - verde (0.525–0.600 μm), B4 - vermelho (0.630–0.680 μm), B5 – infravermelho próximo (0.845–0.885 μm), 6 – infravermelho médio (1.560–1.660 μm) e B7 – infravermelho médio (2.100–2.300 μm) (n) (NASA, 2020).

Após a definição de classes, foi realizado o processo de coleta de amostras de uso do solo para cada ano sendo: 200 amostras para a classe Culturas anuais/Pecuária, 150 amostras a classe Formação Florestal/Formação Savânica e 100 amostras para a classe Formação Campestre/Pastagem, (o) totalizando 450 amostras, estas consideradas suficientes para classificação. Essa classificação foi realizada no SIG *Qgis* 3.4. Madeira utilizando o complemento SCP, finalizando com a edição de mapa temático da classificação.

Para avaliar as condições de declividade da bacia, utilizou-se a metodologia proposta pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, da EMBRAPA, (2018) (q), reconhecendo as seguintes classes de relevo expressas em porcentagem (%):

- Plano – Superfície de topografia plana com desníveis muito pequenos e declividades variáveis de 0 a 3%;
- Suave ondulado – Topografia pouco movimentada, apresentando declives suaves variáveis de 3 a 8%;
- Ondulado (8-20%) – Superfície de topografia pouco movimentada, apresentando declives moderados variáveis de 8 a 20%;
- Forte ondulado – Topografia movimentada com fortes declives predominantemente variáveis de 20 a 45%;

- Montanhoso – Topografia vigorosa, constituídas por formas acidentadas, morros, montanhas e declives fortes e muito forte variáveis de 45 a 75%;
- Escarpado – Áreas com predomínio de formas abruptas, íngremes e escarpadas, vertentes de declives muito forte com valores acima de 75% (p).

Para tanto, de acordo com os valores previstos na literatura foram estabelecidos três intervalos: 1 – (0 - 8%) sendo as classes relevo plano e relevo suavemente ondulado; 2 – (8 - 20%) relevo ondulado e 3 – (> 20%) topografias com fortes declives, íngremes e escarpas, utilizando a ferramenta *slope* (r).

2.6. Pós-Processamento (Validação da classificação)

Após a elaboração dos procedimentos de processamento, as cenas foram submetidas a análises prévias para detecção de possíveis erros. Para certificação e confiabilidade das informações disponibilizadas foram submetidas a geração da Matriz de Confusão e Índice *Kappa* (s), fazendo uso do complemento SCP no *Qgis* 3.4 Madeira, sendo os valores obtidos comparados conforme metodologia proposta por Fonseca (2000). O índice *Kappa* tem como objetivo indicar a exatidão da referida classificação com variação de valores entre 0 e 1, onde valores próximos a 1 indicam uma classificação satisfatória (t).

2.7. Dados físicos do solo

Dados de solo da bacia foram coletados por meio do *World Soil Information* (ISRIC) - centro de referência e informação do solo, este lançado em 2014, através da plataforma online SoilInfo (u) (<http://soilinfo-app.org>), que fornece de modo gratuito dados globais de propriedades e classes do solo em seis profundidades, mapeamento geoestatístico e modelos automatizados. A lista de dados disponibilizados inclui: carbono orgânico total (%), pH do solo, frações de areia, silte e argila (%), densidade aparente (kg/m^3), capacidade de troca catiônica da fração final de terra (cmol^+/kg), fragmentos grossos (%). Para a Bacia do Rio Preto foram coletados dados de densidade do solo, frações de silte, areia e argila (v).

Para os dados de umidade do solo, utilizou-se *rasters* do satélite SMAP (*Soil Moisture Active Passive*), com recorte temporal de 2016 a 2019, compreendendo o território da área de estudo. O SMAP é um satélite de pesquisas ambientais proveniente de uma missão recente da NASA (RIBEIRO et al., 2015), lançado em janeiro de 2015. Segundo Reichle, et al. (2017), o instrumento SMAP funciona com um radar e um radiômetro de banda L. A unidade utilizada pelo satélite é de m^3 de água por m^3 de solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$). A resolução temporal do produto L4_SM utilizada é de 3 horas a 9 km de superfície (0-5 cm)

(ab), fornecendo um total de 9 imagens por dia, este adequado para estimar a umidade do solo em escala global, fundindo as observações de satélite em modelos numéricos da água na superfície terrestre e balanço energético.

Considerando o intervalo de tempo estudado, com periodicidade mensal, obteve-se 48 produtos *raster* (z). Com o polígono espacial da bacia, gerou-se um grid de 280 pontos (x) com dados de umidade e textura do solo (Figura 2). Para isso, foram utilizados os pacotes *smapr* (Joseph et al. 2019), *sp* (Pebesma e Bivand, 2005) e *raster* (Hijmans, 2017) do software R (r-project.org).

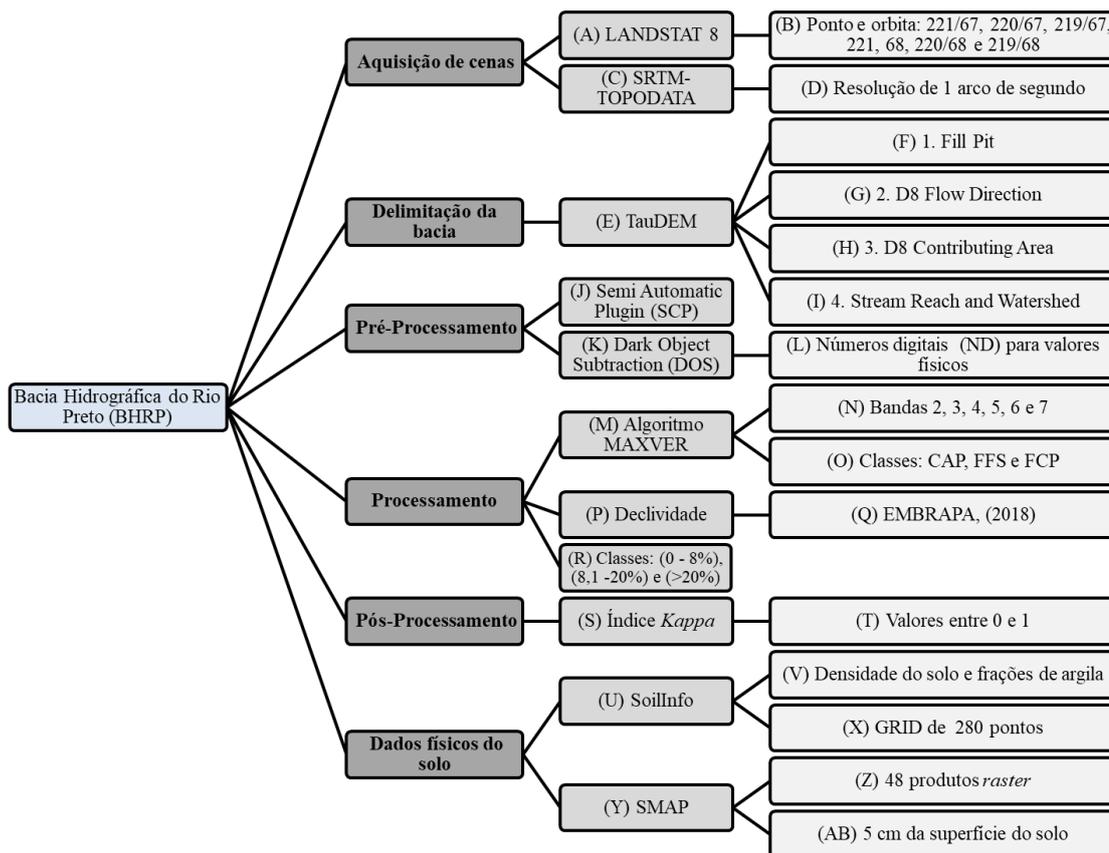


Figura 2. Fluxograma de procedimentos metodológicos para capacidade de suporte de carga da Bacia do Rio Preto, oeste baiano.

2.8. Determinação da Capacidade de Suporte de Carga (CSC)

Os dados de umidade (θ) extraídos do SMAP foram utilizados em um conjunto de equações propostas por Severiano et al. (2013) para obtenção da capacidade de suporte de carga em função do potencial mátrico (Ψ_m) da água no solo e do teor de argila (L).

$$L_{152}: \theta = 0.05 + \{0.42 / [1 + (0.79\Psi_m)^{1.72}]^{0.42}\}; R^2 = 0.98^{**}$$

$$L_{209}: \theta = 0.07 + \{0.46 / [1 + (0.74\Psi_m)^{1.52}]^{0.34}\}; R^2 = 0.99^{**}$$

$$L_{263}: \theta = 0.10 + \{0.44 / [1 + (0.70\Psi_m)^{1.60}]^{0.37}\}; R^2 = 0.98^{**}$$

$$L_{311}: \theta = 0.11 + \{0.46 / [1 + (1.66\Psi_m)^{1.52}]^{0.34}\}; R^2 = 0.99^{**}$$

$$L_{365}: \theta = 0.11 + \{0.48 / [1 + (1.80\Psi_m)^{1.49}]^{0.35}\}; R^2 = 0.98^{**}$$

$$L_{399}: \theta = 0.13 + \{0.50 / [1 + (2.21\Psi_m)^{1.47}]^{0.32}\}; R^2 = 0.98^{**}$$

$$L_{420}: \theta = 0.14 + \{0.53 / [1 + (2.10\Psi_m)^{1.45}]^{0.31}\}; R^2 = 0.98^{**}$$

$$L_{490}: \theta = 0.15 + \{0.52 / [1 + (1.98\Psi_m)^{1.42}]^{0.30}\}; R^2 = 0.99^{**}$$

$$L_{521}: \theta = 0.15 + \{0.51 / [1 + (2.27\Psi_m)^{1.38}]^{0.28}\}; R^2 = 0.99^{**}$$

$$L_{716}: \theta = 0.16 + \{0.52 / [1 + (2.42\Psi_m)^{1.41}]^{0.29}\}; R^2 = 0.98^{**}$$

Após a devida inversão das equações para determinação de Ψ_m , têm-se as seguintes equações de predição da CSC:

$$L_{152}: CSC = 129.0 \Psi_m^{0.15}; R^2 = 0.95$$

$$L_{209-263}: CSC = 123.3 \Psi_m^{0.13}; R^2 = 0.94$$

$$L_{311}: CSC = 85.0 \Psi_m^{0.17}; R^2 = 0.94$$

$$L_{365-490}: CSC = 70.1 \Psi_m^{0.16}; R^2 = 0.96$$

$$L_{521}: CSC = 62.7 \Psi_m^{0.15}; R^2 = 0.91$$

As predições de CSC sobre o grid amostral mensal do SMAP para a bacia foram obtidos com o auxílio do pacote soilphysics (Silva e Lima, 2015).

2.9. Análises estatísticas

Os dados de CSC foram agrupados conforme os polígonos espaciais das classes de tipo de uso e cobertura do solo da bacia e intervalos de declividade, construindo-se, a partir da distribuição t-Student, intervalos de 95% de confiança para a média de cada classe, permitindo comparações entre estas em cada mês. As séries temporais de CSC foram apresentadas em gráficos para identificação de possíveis tendências.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Capacidade de Suporte de carga do solo em diferentes tipos de uso e cobertura do solo

Para a classificação realizada, verificou-se acurácia geral de 95% e índice Kappa de 0,94 referente ao treinamento das cenas para a área de estudo. Resultado semelhante ao de Nascimento et al. (2018), ao avaliarem o uso e cobertura do solo no Alto da Bacia do Paraim, extremo sul piauiense, que apresentou acurácia global de 93% e índice Kappa 0,90. Segundo Fonseca (2000), os valores do índice *Kappa* entre 0,8 a 1,0 indicaram uma classificação com resultado excelente.

Quanto à predição de capacidade de suporte de carga (CSC) de uso e cobertura da Bacia Hidrográfica do Rio Preto no recorte temporal estudado para as classes Formações Florestais/ Savânica (Ffs), Formação Campestre/Pastagem (Fcp) e Culturas Anuais/Pecuária (Cap) nota-se uma variação temporal entre os meses e as classes. Pôde-se verificar que a CSC variou significativa e inversamente com quando levados em consideração os teores de umidade dado o comportamento sazonal da região com períodos bem definidos conforme observado na Figura 3c, tendência semelhante apresentada por Bergamin et al. (2018), ao estudarem diferentes sistemas de manejo em Latossolos Vermelhos-Distróficos no município de Dourados-MT, concluindo que a tensões decrescem de acordo o incremento da água no solo e aumenta com a densidade do solo.

No ano inicial, os valores médios de capacidade de suporte de carga (CSC) variaram entre 169 kPa e 258 kPa. Observou-se ao longo dos meses, aumento das tensões entre fevereiro e julho, sendo neste último os valores mais altos nas classes de Ffs (258 kPa) e Fcp (244 kPa), apresentando valores superiores em relação a Cap (235 kPa) comportamento estes que podem estar relacionados com a redução da precipitação nestes meses com registros de 33,8 mm e 31,5 mm respectivamente.

A capacidade de suporte de carga tende aumentar à medida que o solo se torna mais seco, visto a ausência de umidade tornar as partículas de solo mais coesas entre si. Em contrapartida, Vischi Filho et al. (2015), ao avaliarem a capacidade de suporte de carga e efeitos da mecanização em Latossolos Vermelhos em sistema de manejo de cultivo de cana-de-açúcar no município de Pradópolis-SP, indicaram que, aumentando os teores de água no solo, reduz a resistência interna de partículas, uma vez que forma uma camada líquida que envolve as partículas e agregados do solo, reduzindo o atrito e aumentando a deformação que pode ser intensificada por pressões externas exercidas sobre o solo.

Iori et al. (2012), ao estudarem a CSC em diferentes classes de solo e uso na sub-bacia do Rio Iguapé – SP, verificou que na baixa umidade a CSC mostrou diferenças entre as pastagens e mata nativa em que esta última mostrou maior capacidade de suporte devido principalmente ao elevado teor de argila, representando maior coesão entre as partículas em relação ao mesmo solo sob pastagem. Possivelmente, aumento nos valores de densidade traz como consequência no processo de pré-consolidação o rearranjo interno das estruturas do solo.

A umidade e a textura são fatores determinantes nas alterações físico-estruturais do solo. A densidade média encontrada para todas as classes estudadas na BHRP variou entre 1,3 a 1,5 kg/m³ e teores de argila entre 22,5% a 23,5% indicando que a textura não exerceu influência direta na capacidade

de suporte de carga entre as classes tal qual da umidade. Segundo Braga et al. (2015), quando solos apresentam maiores teores de argila apresentam maior capacidade de suporte, devido a maior força de coesão entre as partículas, dificultando a separação e o deslocamento dessas quando uma tensão é aplicada.

Em contraste, o mês de fevereiro apresentou os menores valores de suporte de cargas, apesar das semelhanças das médias das classes, as Formações florestais e Formações campestres demonstraram maior susceptibilidade à resistência quando comparadas a classe de culturas anuais/pecuária no mês citado. Houve uma precipitação acumulada registrada para o mês de janeiro de 827,7 mm que, pelo processo de infiltração, existe a tendência de uma maior retenção do conteúdo de água no solo que pôde ter relação direta no mês subsequente, reduzindo assim o potencial de cargas para as classes de vegetação natural.

Outro fator para estes valores podem estar associados com a maior quantidade de cobertura vegetal tanto pela copa (porção superior) quanto na camada superficial do solo, que auxilia em maior potencial de captação, retenção de água e contenção da faixa de temperatura. Os sistemas de manejo também podem influenciar nas tensões, já que a bacia apresenta aptidão agrícola, em sua grande maioria adotada por sistema de semeadura direta (SSD), sem que haja revolvimento, havendo apenas a deposição de MO na superfície até o período do início aos tratamentos culturais para uma nova safra.

Medeiros et al. (2015) e Drescher et al. (2011), ressaltam que, quando realizadas atividades agrícolas em níveis altos de umidade o solo se torna mais plástico e aderente, promovendo o incremento na demanda de potência para tração de máquinas e implementos, de um alto consumo de energia e a carga aplicada no solo associada ao patinamento degrada a sua estrutura que por consequência contribui a formação de camadas compactadas superficiais e subsuperficiais.

Entretanto, verifica-se o intervalo entre fevereiro a abril em que as culturas anuais/pecuária obtiveram altos valores de tensões em relação às classes de vegetações naturais. Para a região, entre março e abril já se inicia a mobilização para processo de colheita de grãos, ou seja, a inserção de maquinários nas lavouras, e comparado ao ano citado verifica-se baixos valores de precipitação, relações estas que justificam tal comportamento para a classe em relação às demais.

Dessa forma, caso haja pressões excessivas nestes meses por atividades agrícolas em conteúdos de umidade elevados, caso se ultrapasse os limites estipulados, o solo pode entrar em processo de deformação estrutural e até em graus que não se possa reverter as condições de degradação. Segundo Mazurana et al. (2011), o preparo do solo e tráfego de maquinário com elevada massa em condições de umidade acima do estado friabilidade no momento das operações podem ultrapassar as capacidades de suporte de carga do solo caso ocorra provocando deformações plásticas, reduzindo sua qualidade física concomitantemente com a redução da macroporosidade, o que pode dificultar trocas gasosas do solo com a atmosfera.

No ano de 2017, verifica-se aumento substancial da CSC em abril, com valores superiores a 184 kPa, e em agosto, com valores superiores a 248 kPa indicando que nesse período o solo foi submetido a um maior incremento nos valores das tensões (Figura 3), paralelo aos dados, nota-se uma redução da umidade indicada pelos baixos índices pluviométricos registrados no período em destaque com precipitações ocorridas dentro do intervalo citado somente para o mês de abril (41,1 mm) (Figura 3f).

Quanto aos sistemas de manejo, verifica-se a predominância de maior pressão aplicada as culturas anuais/pecuária que despontaram entre os meses de março a julho em relação às classes de vegetação natural. As Cap quando comparado com o ano anterior, existe uma tendência de superioridade podendo ser justificado pela adoção do SPD continuada, que consiste na adição de MO sobre o solo após a colheita e implantação de culturas de coberturas como a braquiária, porém em repouso sem haver nenhum tipo de revolvimento. Contudo, outro fator que influencia diretamente na intensidade das tensões aplicadas nos solos aliado os sistemas de manejo, são os sucessivos tráfegos de maquinários e implementos agrícolas no processo de semeadura, aplicação de fertilizantes e defensivos, colheita e transporte (Gubiani et al., 2015).

A ausência da mobilidade ou manutenção das camadas superficiais podem acumular as tensões para os anos posteriores que aliadas com o histórico da utilização intensa de maquinários para plantio/colheita, impõem altas pressões superficiais no solo contribuindo diretamente para a degradação da qualidade física do solo. Para tanto, as partículas do solo na camada superficial tendem a estarem mais agregadas entre si, elevando conseqüentemente os valores de CSC, expondo a um maior grau de compactação. Pragna et al. (2012), avaliando a qualidade física de Latossolos Amarelos distróficos típicos no Cerrado Piauiense, verificaram que mesmo havendo alternância entre plantio convencional e plantio direto nos anos estudados não foram suficientes para elevar os potenciais de porosidade total e macroporosidade em relação a mata nativa, apontando alterações nos atributos físicos do horizonte superficial, evidenciando um efeito negativo.

O mês de janeiro apresentou altos valores de capacidade em suportar carga especificamente à classe de culturas anuais bem acima das vegetações naturais com valores de 267 kPa. É reportado na literatura que as altas tensões aplicadas ao solo alteram seus atributos físicos e resultam em maiores graus de compactação, diminui o desenvolvimento radicular aeração do solo e conseqüentemente produtividade das culturas (Iori et al., 2012). Não se discute quanto aos benefícios do sistema de plantio direto que são descritos por Nascente, Lu e Crusciol (2013), combinados com a manutenção da vegetação, cobertura e matéria orgânica que tendem a se acumular na parte superior das camadas do solo, sendo que a decomposição promove melhorias na fertilidade do solo.

Entretanto, Girardello et al. (2014), destacam que o SPD apesar de considerado a melhor técnica de conservação de solos tropicais, tem apresentado problemas tais como compactação de camadas

superficiais e que para solucionar tais problemas tem se adotado manejos adicionais como a escarificação do solo para proporcionar condições físicas adequadas do solo.

Apesar do SPD apresentar eficácia na proteção das superfícies do solo e a processos erosivos o mesmo pode contribuir para camadas de solo mais densos e favorecer as pressões exercidas sobre ela. Camadas mais adensadas no SPD são confirmadas por Silva et al. (2012), onde relatam ser resultante do histórico de tráfego de maquinário agrícola e ausência do revolvimento do solo. Os pontos de contato entre pneus de maquinário e o solo também são atividades que potencializam as pressões nas áreas agrícolas, sobretudo os pneus com menor superfície de contato.

Assim, caso as tensões excedam seus limites superiores significa que pode contribuir diretamente para uma tendência a processos de deformação de sua estrutura natural. Outro fator a se ressaltar são as operações mecanizadas aplicadas em solos com altos teores de umidade, que deve ser planejada de acordo com a CSC adequada para evitar a degradação estrutural do solo principalmente quando o maquinário passa sobre a mesma área mais de uma vez (Bergamin et al., 2018). Os menores valores de CSC, foram obtidos no mês de abril em que as Formações florestais/savânicas e Formações campestres/pastagens foram mais susceptíveis a compactação dentro deste mês em relação a classe de Culturas anuais/pecuária com valores de 184 kPa e 191 kPa respectivamente.

Em 2018 houve um crescimento dos valores de CSC entre os meses de março (>184 kPa) a julho (>216 kPa). As classes de vegetação natural foram as que obtiveram os menores valores médios no mês de março, O intervalo das tensões para o ano foram compreendidas dentro dos valores estudados por Schjønnig e Lamandé (2018), com tensões entre 38 a 312 kPa para camada limite até 12 cm.

Além das pressões exercidas sobre o solo ao longo do tempo, a não ocorrência de chuvas durante o mês de setembro pode ter favorecido os altos valores das tensões, sobretudo nas classes de vegetação natural, pois, a umidade do solo tende a ser reduzida e por consequência a adesão entre as partículas de solo é favorecida, o que resulta em maior capacidade de suporte de carga, por outro lado pode ter contribuído os valores mínimos do intervalo para o mês de março (185 kPa), nas formações florestais (Figura 3), com registros pluviométricos de 126,7 mm.

Os menores valores das tensões atribuídos às vegetações nativas podem estar associados às quantidades de matéria orgânica na camada superficial e cobertura vegetal, o que reflete em maior potencial de retenção de água e aporte de carbono orgânico (CO). Para Araújo Júnior et al. (2011), maiores conteúdos de CO entre 0 e 3 cm proporcionam maior potencial de elasticidade do solo, contribuindo para liberação das tensões. Solos com conteúdos de CO tendem a ser mais resilientes e ter uma melhor recuperação estrutural, o que reflete em menores resistências mecânicas e baixos valores de densidade.

Observa-se que houve um pico representativo do intervalo disposto no mês de setembro com valores acima de 252 kPa para as Formações campestres/pastagens sobrepondo valores das classes de

culturas anuais, que podem estar relacionadas com o aumento das capacidades de suporte de carga visto o potencial da região em áreas de pastagens e campos vinculadas a criação de animais de grande porte. Para Parente e Maia et al. (2011), o pisoteio animal, taxas de lotações inadequadas, sobrecarga animal em função da disponibilidade de forrageira e/ou práticas de pecuária semi-intensiva ou intensiva para a ser um fator de alteração estrutural quando em limites superiores a capacidade de suporte do ecossistema. Em médio prazo pode exercer pressões que podem provocar a compactação quando na época chuvosa e desagregação no período seco, Já em longo prazo, contribui para a irreversível degradação dos solos e da vegetação gerando áreas susceptíveis.

Ortigara et al. (2014), descrevem em seus estudos aplicados em Latossolos Vermelhos Distróficos que o pisoteio animal elevaram os valores de CSC no sistema de pastagem rotacionada em relação aos sistemas com revolvimento do solo e mata nativa observando que na camada de 0-5 cm apresentando uma capacidade de 42,0 kPa, valor este 82,46 % inferior o descrito para o mês de setembro do ano de 2018 do nosso estudo quando comparada a Fcp.

Outro fator a se destacar é a heterogeneidade das fitofisionomias apresentadas nas formações campestres. Apresentam vegetação de pequeno porte e espaçadas entre si, onde os campos rupestres apresentam afloramentos rochosos em seus domínios em meio à vegetação, tendendo a elevar os valores das tensões nos períodos de ausência pluviométrica como foi o caso do mês de setembro para este ano.

Para o último ano do estudo (Figura 3), diferentemente do comportamento dos anos anteriores, o intervalo de crescimento das tensões se deu entre março e setembro, apesar do comportamento semelhante das médias das classes estudadas, as Formações florestais e campestres tiveram maiores tensões quanto comparadas com as culturas anuais. Um dos aspectos a se considerar apesar do lado benéfico da matéria orgânica (MO) em relação à manutenção e compressividade do solo, é que a mesma pode auxiliar no aumento das forças de ligação entre as partículas de minerais visto que os meses citados no estudo apresentaram maiores valores de CSC.

Braida et al. (2010), indicaram em seus estudos que o aumento do teor de carbono orgânico no solo (COS) amplia a CSC, o processo de decomposição da MO faz com que as partículas de solo se tornem mais agregadas entre si podendo agir como efeito cimentante. Segundo os autores, quando predominam os efeitos da redução da densidade por aumento da porosidade, a resistência do solo diminui, por outro lado, a MO aumenta a resistência do solo, a compressão quando predominam os efeitos do aumento de: dos parâmetros de cisalhamento, da tensão capilar com aumento da coesão aparente, redução do efeito da água na redução da fricção entre partículas, redução da densidade por efeito da diluição e aumento da elasticidade do solo.

Por outro lado, maio foi o mês que apresentou maior sensibilidade dentro do intervalo estudado, apontando o mês como mais susceptível a processos de compactação quando aplicadas intensas pressões que excedam o que se suporta. Neste ano os valores em kPa variam entre 184 kPa e 256 kPa, ambos

valores encontrados nas formações florestais/savânicas, sendo os menores mínimos citados próximos aos encontrados por Fidalski et al. (2015), estudando as tensões em tratamentos de gramíneas (185 kPa), leguminosas (137 kPa) e vegetação espontânea (139 kPa) estabelecida nas entrelinhas de pomares de laranja sob rodado de camada entre 0 - 10 cm.

Marasca et al. (2012), ao avaliar a CSC em áreas de plantio direto com escarificação e plantio direto sem escarificação no município de Botucatu-SP encontraram valores de 280 e 242 kPa respectivamente estudando camadas de 0-10 cm valores semelhantes aos encontrados para 2018 no nosso estudo, especificamente para a classe de culturas anuais que apresentou CSC de 242,97 kPa.

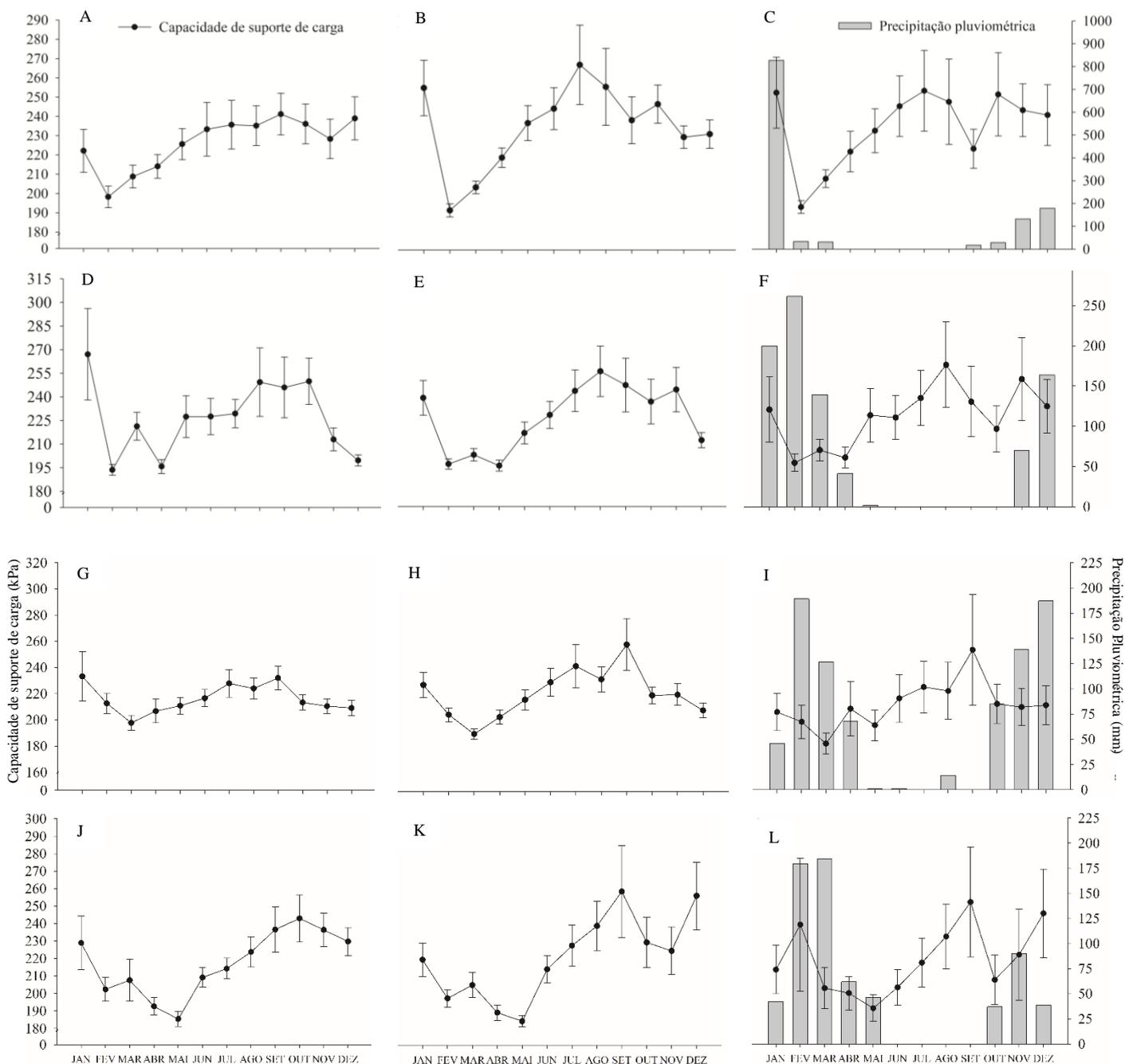


Figura 3. Intervalos de 95% de confiança para a média da capacidade de suporte de carga do solo de acordo com o tipo de uso e cobertura da BHRP nos anos 2016: Cap (A), Ffs (B) e Fcp (C), 2017 Cap (D), Ffs (E) e Fcp (F) 2018 Cap (G), Ffs (H) e Fcp (I) 2019: Cap (J), Ffs (K) e Fcp (L).

Levando em consideração as avaliações mensais entre os anos de 2016 a 2019, os meses que apresentaram menores valores de CSC foram observados em fevereiro, março, abril e maio destacando as classes de vegetação natural. Já os maiores valores do estudo se dispuseram em julho, agosto, setembro e outubro que também as classes de vegetação natural obtiveram maiores médias de tensão quando comparados com as culturas anuais em que esta somente foi superior no mês de outubro, cabendo ressaltar o mês de janeiro de 2017 em que se teve uma diferença considerável de 37 kPa quando comparadas com as formações florestais e 46 kPa em relação as formações campestres.

Comparando os valores médios de CSC entre os anos pesquisados (Figura 4), nota-se que os dois anos iniciais do intervalo demonstraram maiores valores de capacidade de suportar carga para a classe de Culturas anuais/pecuária com valores médios de 226,48 e 226,67 kPa, por outro lado para a mesma classe, os valores tiveram uma redução em 2018 e 2019 para 216,22 e 217,49 kPa respectivamente, correspondendo a uma redução de 9,29 kPa ou 4,08%. As Formações florestais/savânicas tiveram oscilações em seus valores, apresentando em 2016 altas tensões 222,61 kPa, declinando até 2018 com valores médios de 215,53 kPa e se elevando no último ano de estudo com 219 kPa diferença esta de 1,40% no intervalo citado.

Por fim, as Formações campestres/pastagem obtiveram comportamentos semelhantes, com uma variação de apenas 0,85 kPa ou 0,38%. Comportamento oposto foi verificado nos estudos elaborados por Kunde et al. (2018) ao avaliarem a resistência a tração de um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado com cana-de-açúcar de um a cinco anos encontraram valores entre 84,89 e 91,66 kPa respectivamente, refletindo em um aumento nas tensões de 7,37%. Para Torres et al. (2015), estudando e Latossolos Vermelhos Distróficos no município de Uberaba - MG, indicaram que aumento nas pressões sob o solo podem interferir diretamente nos valores de densidade, crescimento radicular de plantas, redução da aeração, aumento da resistência mecânica do solo a penetração e provocar alterações na dinâmica da água no solo. Silva et al. (2016), afirmam que, quando as pressões superam a CSC do solo podem ocorrer deformações plásticas ou irreversíveis no que se refere a estrutura do solo, por outro lado quando as pressões aplicadas são inferiores a CSC do solo pode causar deformações elásticas ou consideradas recuperáveis.

Estudos nesse sentido nos apoiam quanto ao suporte que, o conhecimento da umidade do solo e seu comportamento compressivo por auxiliar nas tomadas de decisões e recomendações quanto aos limites permitidos de tensões a serem aplicadas em tais condições conforme exemplificado por Kamimura et al. (2020), estudando Latossolos Vermelho-amarelos do Cerrado mineiro, apontam em seus estudos a limitação quanto a utilização de maquinário agrícola quando o conteúdo volumétrico de água for igual a $0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ pois o solo avaliado só possui capacidade em suportar 200 kPa nestas condições, o que confirma a umidade como fator de influência direta nas capacidades de suporte de carga do solo.

A variação nos dados mensais dos intervalos estudados pode estar associada com a heterogeneidade dos pontos de amostragem e a extensão da área estudada. Reduções em valores de CSC implicam em maior susceptibilidade à compactação. Dessa forma, declínios do potencial de suporte de carga ao longo dos anos pode indicar perda da qualidade físico-estrutural, com uma maior tendência a processos de compactação. Reduções do potencial refletem no adensamento das partículas, menores taxas de infiltração no solo que por sua vez potencializa o escoamento superficial que, a depender das condições de relevo podem influenciar nos processos erosivos.

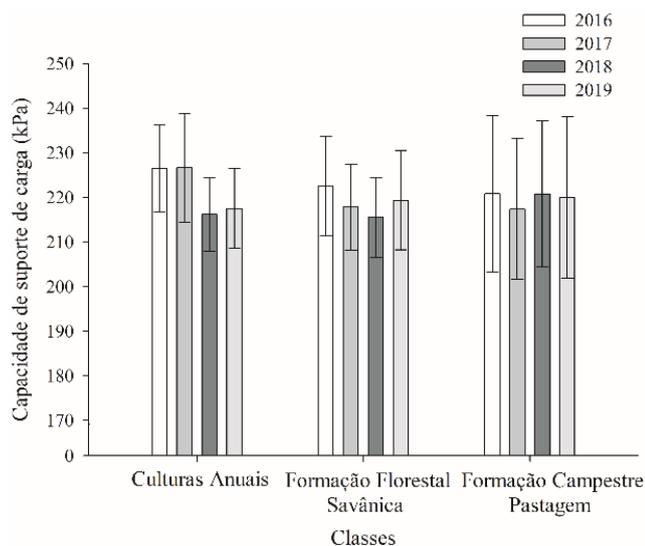


Figura 4. Capacidade de suporte de carga de usos e cobertura anual (2016-2019) na BHRP.

Quando comparadas as CSC dos usos e cobertura em função do período sazonal da região para o intervalo de estudo verifica-se valores de tensões em sua grande maioria superiores para o período seco da região em relação ao período chuvoso. Observa-se na Figura 5. valores superiores nos anos de 2016, 2017 e 2018, sendo então somente o último ano do intervalo com altos valores de tensão no período chuvoso. Embora haja picos de pressão em função das épocas do ano, pode haver variações temporais de acordo com o regime de precipitação anual, em que, períodos mais chuvosos indicam uma maior tendência a processos de compactação caso os limites das tensões não sejam respeitados.

Mesma tendência foi apontada nos levantamentos de Iori et al. (2012), simulando o comportamento de tensão de pré-compressão e capacidade de carga solos em dois regimes de umidade (úmido e seco) encontrando altos valores de pré-compressão quando o teor de umidade era baixo. Silva et al. (2006), apontam que, a redução nas pressões na estação chuvosa quando comparada com a seca, indica um alívio da capacidade de suporte de carga à medida que se se aumenta o teor de umidade no solo, indicando que as variações sazonais influenciam diretamente nos valores de CSC.

Verifica-se que, quanto mais seco estiver o solo ou mais reduzido for o grau de umidade, maior será seu potencial de suporte de carga o inverso ocorre quando há presença e aumento no teor de umidade

no solo. Visto este comportamento, pode-se afirmar que todas as classes de uso e cobertura foram influenciadas quanto ao comportamento sazonal. Para Neiva júnior et al. (2015), o teor de água é um fator limitante para a deformação do solo, o que indica a importância de conhecer a capacidade de retenção de água no solo, visto que se tem comportamento inverso quando se compara com a CSC.

Outros fatores podem ser apontados por De Moraes et al. (2012), relatando que, a quantidade e intensidade de insolação recebida tende a influenciar na evaporação e, conseguinte na infiltração do solo, pois quanto maior a disponibilidade de chuvas, maior a intensidade da precipitação, mais rapidamente o solo atingirá a condição de saturação e passará a conduzir água em profundidade, fenômeno chamado de condutividade hidráulica do solo.

Santos e Pereira (2013), indicam a textura e suas estruturas também como determinantes na movimentação e infiltração da água uma vez que determinam a quantidade e disposição dos poros. Para isso, levando em consideração o fator sazonal, caso os valores de tensões estejam elevados a ponto de superar os limites adicionais, podem reduzir a macro e microporosidade aumentando proporcionalmente à resistência a penetração no solo com maiores tensões (Silva, Albuquerque e Costa, 2014).

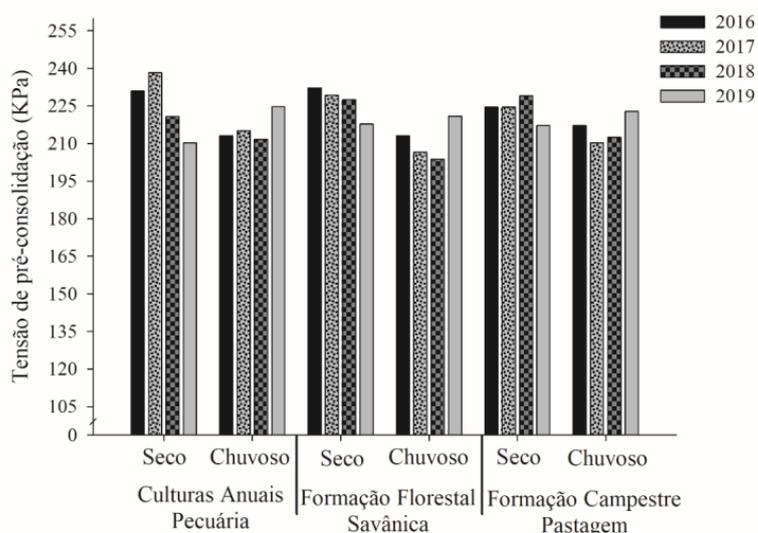


Figura 5. Capacidade de suporte de carga de uso e cobertura da BHRP, período seco e chuvoso, (2016-2019).

3.2. Capacidade de suporte de carga do solo em diferentes intervalos de declividade do solo

Para os mesmos anos estudados nas classes de uso e cobertura, também se pode observar tendências de variações das CSC tanto entre as classes quanto entre os meses quando comparados aos intervalos de declividades entre 0-8%, 8,1-20% e >20%, em que as tensões mais elevadas são pronunciadas nas maiores inclinações (Figura 6). A tendência que o declive aumenta, eleva o escoamento superficial e reduz da taxa de infiltração de água no solo, uma vez que a rampa do declive acelera a velocidade do escoamento da água (Bias et al., 2012). Esse fator, por exemplo, pode favorecer a

ocorrência de perdas do solo, principalmente o desenvolvimento de sulcos, ravinas e voçorocas. Em áreas mais declives, a infiltração da água praticamente não acontece e são intensos os escoamentos superficiais e a tendência potencializada de processos erosivos (Silva e Machado, 2014).

Áreas onde o declive se encontra mais inclinado, o potencial de infiltração se torna menor devido o escoamento superficial ser maior. Além dos aspectos físicos como a textura do solo, a umidade é um fator determinante das variações das capacidades de suporte de carga, sendo então que áreas planas ou suave onduladas tendem a proporcionar uma maior taxa de infiltração e influenciar diretamente na redução das tensões, comportamento verificado na figura 6.

A presença de restos de culturas, cobertura vegetal é de fundamental importância no processo de recepção da precipitação, uma vez que desacelera o processo de escoamento (Klein e Klein, 2014) contribuindo diretamente para a infiltração da água no solo. Sobre outra perspectiva, pela capacidade ampliada de infiltração visto a redução da energia cinética da água, nas áreas de relevos planos, conseqüentemente as CSC são reduzidas tornando mais vulneráveis as pressões externas quando comparadas com os demais intervalos de inclinações. Conforme Fujaco, Leite e Neves, (2016), áreas com inclinações reduzidas aliadas com práticas de conservação do solo atenuam as perdas do solo ou a redução de processos erosivos.

Para tanto, verifica-se comportamento médio semelhante entre os meses de maio e outubro para a classe (0% - 8%) com relevos planos e suaves ondulados, com os menores valores de tensões em relação às demais classes, para o intervalo citado (182 a 237 kPa), exceto quando se compara com a classe de declividade acima de 20% no mês de setembro. O mês de janeiro também apresentou altos valores sendo as classes ondulado (8,1% - 20%) e relevos com fortes declives (>20%) expostas as maiores pressões (Figura 6).

Para Pereira e Teixeira Filho (2009), áreas com declividade até 8% em qualquer situação de uso e ocupação consistem em áreas com baixa susceptibilidade em relação aos processos erosivos por apresentar condições para que a água das chuvas infiltre nos solos de forma a não causar grandes carregamentos de sedimentos. Por conseguinte, a predominância do relevo da área da BHRP é de relevo planos e suavemente ondulados com inclinações entre 0 a 8% o que corresponde a 86% do relevo da área estudada, ou seja, do ponto de vista agrícola com elevado potencial de mecanização, que, favorece a utilização intensiva de máquinas, mas quando empregadas em trações ou conteúdos de umidades excedentes podem contribuir para a perda da qualidade física do solo, e quando superam as capacidades permitidas podem entrar em processo de redução da qualidade física do solo, visto que para o intervalo citado foi a classe que apresentou os menores valores de tensões.

No ano inicial, observa-se valores em CSC mínimos de 164 kPa e máximos de 302 kPa apresentando um aumento dado entre os meses de fevereiro a agosto, em que, as classes (8,1% - 20%) caracterizados como relevo ondulado tiveram valores superiores quando comparados com as demais

classes estudadas, meses estes sem nenhum registro pluviométrico, onde pode estar associadas com a ausência de chuvas, sabendo que, a umidade governa quanto aos valores das tensões.

Em 2017, as menores pressões foram identificadas no mês de fevereiro, semelhante aos menores valores do mesmo mês quando comparados com o ano anterior que podem ter relação direta com os valores de precipitação para o mês (261,5 mm), em que as médias das tensões foram semelhantes a todas as classes. Diferentemente de 2016, o intervalo de aumento nas tensões se distribuiu entre os meses de abril a setembro, em que, no último mês citado a classe 8,1% - 20% obtiveram maiores valores de CSC em relação às demais classes estudadas conforme ilustrado na Figura 6, com redução gradual das precipitações (Figura 3). Por outro lado, os menores valores foram atribuídos ao relevo plano e suave ondulado (0 – 8%) nos meses de julho a novembro, exceto em outubro em que as declividades maiores que 20% obtiveram os menores valores.

Observa-se com destaque, altos valores de CSC (340 kPa) no mês de setembro em que, a classe 8,1% - 20% foi a mais afetada pelas tensões, valores estes que podem estar associados a ausência do teor de umidade no período e utilização de maquinário visto ser um intervalo de inclinação que favorece a mecanização no auxílio do ciclo agrícola da região. Estes valores também podem ser justificados quanto ao sistema de manejo adotado onde os solos de áreas plantadas com culturas anuais estão constantemente submetidos a um manejo específico, somada a utilização intensificada de maquinário agrícola. Tais práticas podem exercer elevadas cargas ao mesmo, aumentando os problemas estruturais do solo e, comprometendo a sua capacidade ao longo dos anos, influenciando diretamente as funções ecológicas como crescimento radicular de plantas, infiltração e movimentação da água, causando efeitos prejudiciais.

Entretanto, mais susceptíveis a processos erosivos, e se somado à característica declive elevado e à fragilidade natural dos solos, tem-se situação agravada. Mesmo nas áreas plantadas em relevo levemente acidentado e aplainados, deve-se ter os devidos cuidados no manejo quanto aos processos de escoamento superficial, fluxos de água espalhados e não canalizados (concentrados), podendo iniciar perdas laminares, evoluindo para ravinamento (Silva e Rosa et al., 2019). Para Iori et al., (2014) ao estudarem sobre lavouras cafeeiras indicaram que a declividade pode influenciar alterações na propriedades físicas como a microporosidade e estabilidade de agregados em água e o teor de matéria orgânica.

Para a agricultura, as perdas de solos tende a elevar os custos de produção dos produtos agropecuários, uma vez que se aumenta a necessidade de uso de corretivos e fertilizantes, e reduz-se a eficiência operacional das máquinas, além dos custos adicionais com as próprias práticas para controle da erosão (Carvalho et al., 2012). Já Feitosa et al. (2015), elenca outros fatores como a distribuição do peso do trator; dimensões, tipo de estrutura e pressão interna dos pneus; área de contato e pressão de contato entre o pneu e o solo; velocidade de deslocamento; intensidade de tráfego e operações realizadas pelos tratores é alguns dos fatores que influenciam as modificações ocasionadas pelo tráfego na estrutura do solo.

As médias das tensões em 2018 tiveram poucas oscilações entre os meses com tensões entre 185 kPa e 322 kPa. Os maiores valores presentes neste ano se deu em julho e setembro para as classes >20% e 8,1 – 20%. A classe 0 a 8% teve novamente comportamento semelhante com os anos de 2016 e 2017 e quando comparado com as demais classes obtiveram os menores valores dispostos entre maio e novembro (Figura 6). A declividade também condiciona o acúmulo de MO do solo. A exemplo do que aborda Iori et al. (2014), sobre lavouras cafeeiras que maiores conteúdos de matéria orgânica foram observados em lavouras planas (declividade de 3 %) enquanto que, em locais com declividades entre 9 % e 15 %, conteúdos menores de matéria orgânica do solo foram observados, o que pode ser explicado pela menor perda de solo e carbono por erosão.

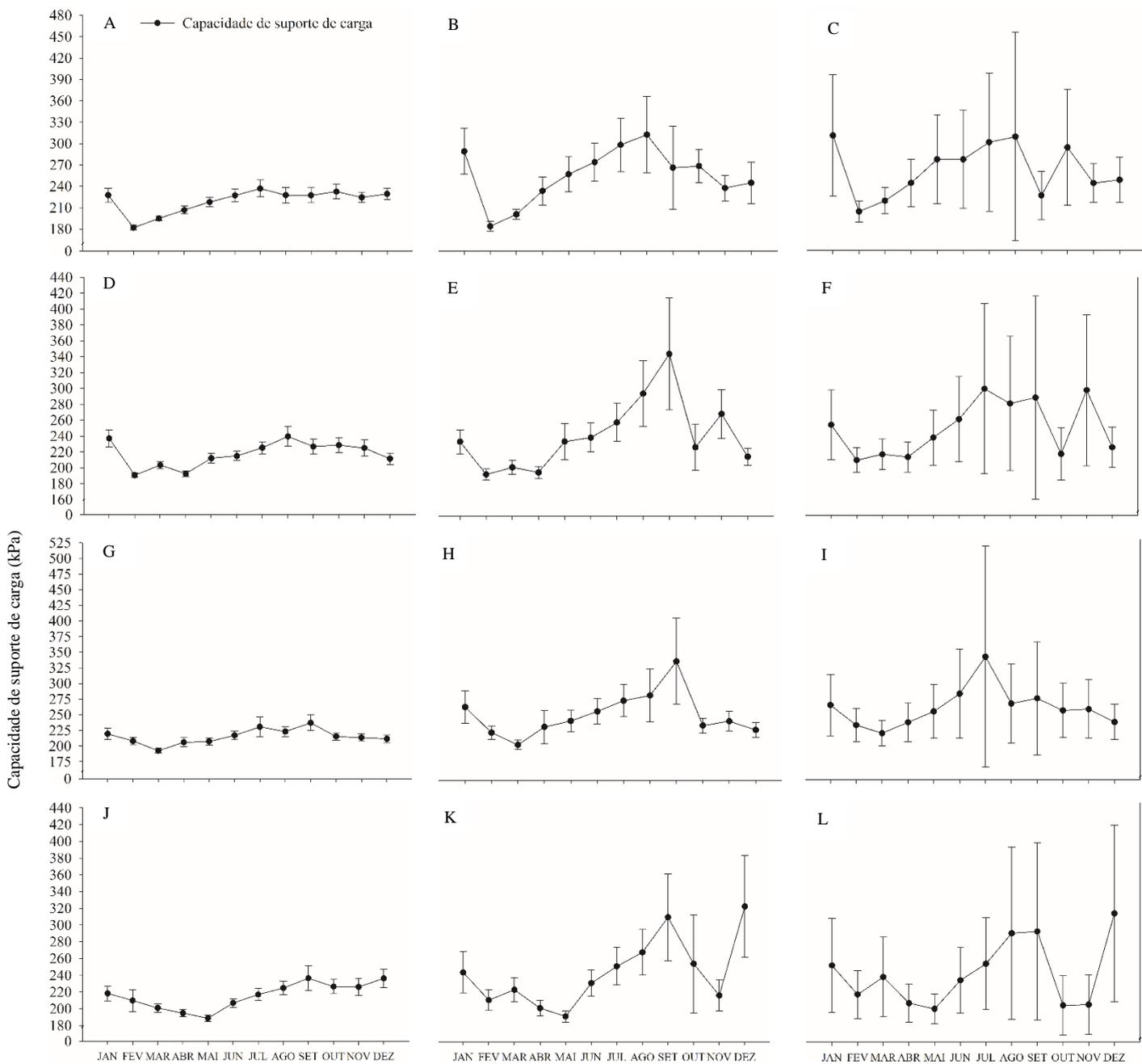


Figura 6. Intervalos de 95% de confiança para a média da capacidade de suporte de carga do solo em classes de declividade para os anos 2016: 0 a 8% (A), 8,1 a 20% (B) e > 20% (C), 2017: 0 a 8% (D), 8,1 a 20% (E) e > 20% (F), 2018: 0 a 8% (G), 8,1 a 20% (H) e > 20% (I), 2019: 0 a 8% (J), 8,1 a 20% (K) e > 20% (L).

Em 2019, observa-se um declínio nas médias das tensões entre janeiro e maio. As declividades entre 0 a 8% foram as que tiveram os menores valores das classes. Os meses de setembro e dezembro foram os que obtiveram os maiores valores em relação às CSC do intervalo representados pelas classes com declividades acima de 8,1%. Também acompanha uma tendência ascendente nos valores de CSC como os outros anos estudados, porém distribuídos entre maio e setembro com valores variando entre 182 kPa e 306 respectivamente. Segundo Iori et al. (2014), áreas inclinadas incentivam a derrapagens de pneus dos maquinários com impactos negativos no solo. Áreas afetadas com a perda da qualidade física do solo especificamente em áreas agrícolas contribuem para a desagregação do solo e potencializada com perdas graduais na ocorrência de chuvas principalmente nas altas inclinações, que podem carrear os sedimentos para as partes mais baixas do relevo.

Problemas dessa natureza são descritos por Santos, Griebeler e Oliveira, (2010), onde partículas soltas do solo podem ser arrastadas e provocam problemas de assoreamento e poluição na rede hidrográfica, diminuindo a seção de vazão dos leitos dos rios e aumentando os riscos de cheias. Problemas como estes têm sido preocupação constante em todas as situações relativas à gestão do uso do solo e da água. Do ponto de vista agrícola, quando há degradação do solo existe a perda de nutrientes e de partículas agregadoras.

Pode-se apontar que os meses julho, agosto e setembro foram o que apresentaram maiores tensões nos intervalos citados verificando uma maior amplitude dos limites para as inclinações acima de 8,1%. Os relevos plano/ondulados (0-8%) foram o que tiveram os menores valores de tensões e nos limites indicando baixa variação dos valores de suporte o que indica um intervalo propenso compactação pelos limites restritos. Por ser o relevo predominante na bacia (86%) e pelo potencial de retenção de umidade tende a ser uma classe mais observada devido este potencial, já que a umidade contribui para o decréscimo do potencial de suporte de cargas dos solo, uma vez que é uma classe que favorece a mecanização agrícola.

Quanto as tensões verificou-se redução entre os anos de 2016 a 2019 para todas as classes: 0-8% relevos planos e suave ondulados (4 kPa ou 1,8%); 8,1-20% relevo ondulado (3,32 kPa ou 1,2%) e >20% relevos escarpados, montanhosos (0,74 kPa ou 0,31%). As capacidades de suporte de carga podem ser mais elevadas nas baixas inclinações por favorecer o processo de infiltração da água e menor escoamento superficial o que por outro lado são fatores potencializados de acordo se aumenta as inclinações podendo afirmar que as tensões também podem variar em diferentes declividades.

4. CONCLUSÃO

As classes de uso e cobertura da Bacia Hidrográfica do Rio Preto apresentaram valores médios de 221,71 kPa para culturas anuais/pecuária; 219,74 kPa para formações campestres/pastagens e 218,86 kPa para formações florestais/savânicas.

A CSC do solo da BHRP apresentou decréscimo, entre 2016 e 2019, em todas as classes de tipo de uso e cobertura estudada, da ordem de: 4,08% para culturas anuais/pecuária, 1,4% para formação florestal/savânica e 0,38% para formação campestre/pastagem.

A sazonalidade da região ou alternância entre os períodos secos e chuvosos tiveram relação com os valores de capacidade de suporte de carga. Quanto mais seco o solo estiver, maior será seu potencial em suportar cargas superficiais.

A capacidade de suporte de carga de solos da Bacia do Rio Preto deve ser estimada antes da realização de práticas agrícolas como manejo mecanizado. Essa verificação pode evitar processos de deformação do solo, devendo se observar as trações, pressões de inflação de pneus, zona de contato entre rodado e solo, intensidade e período do tráfego, levando em consideração que os valores das pressões exercidas superficialmente estejam em concordância do que se suporte de carga.

Aumentos na declividade promovem alterações da capacidade de suporte de carga da ordem de 1,06 kPa para cada 1% de declividade.

Áreas planas, entre 0 a 8% foram às mais expostas a processos de modificações físicas quando comparadas as demais classes de declividades. Este intervalo de declive requer cuidado visto à alta capacidade de infiltração de água, facilidade de mecanização e por ser o relevo predominante da bacia com 86% da área.

Faça-se necessário que sejam continuadas as pesquisas em relação a bacias com potenciais de usos no Oeste Baiano a respeito dos aspectos físicos do solo, com novas metodologias, a exemplo do sensoriamento remoto, servindo de suporte na geração de dados, monitoramento, gestão territorial e conservação de bacias hidrográficas.

5. REFERÊNCIAS

ARAÚJO JÚNIOR, C. F. et al. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um latossolo induzida por diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35 (1): 115-131, 2011.

BERGAMIN, A. C. et al. Structural quality of a latosol cultivated with oilseed in succession to corn. **Ciência e Investigación Agrária**, 45 (2): 169-180, 2018.

BEZERRA, B. G. et al. Estimation of soil moisture in the root-zone remote sensing data. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37 (3): 596-603, 2013.

- BIAS, E. S. et al. Análise da eficiência da vegetação no controle do escoamento superficial: uma aplicação na bacia hidrográfica do Rio São Bartolomeu, DF. **Revista Geociências**, 31 (3): 411-429, 2012.
- BONFIM-SILVA, E. M. et al. Compactação do solo na cultura do trigo em latossolo do Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, 7 (12): 1-8, 2011.
- BRAIDA, J. A. et al. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade a compactação de um nitossolo e um argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14 (2): 131-139, 2010.
- CARVALHO, M. A. R. et al. Escoamento superficial na interação: cobertura vegetal e práticas de controle de erosão. **Revista de Engenharia Agrícola**, 32 (6): 1116-1125, 2012.
- CASTRO, B. L. G.; SILVA, R. A. Produção agrícola na Área de Proteção Ambiental do Rio Preto: impactos na vegetação em duas décadas. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, João Pessoa – PB, 5011-5017, 2015.
- CATEN, A. T.; DALMOLIN, R. S. D.; RUIZ, L. F. C. Digital soil mapping: strategy for data pre-processing. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36 (4): 1083-1092, 2012.
- DEMATTÊ, J. A. M. et al. Spectral regionalization of tropical soils in the estimation of soil attributes. **Revista Ciência Agrônômica**, 47 (4): 589-598, 2016.
- DE MORAIS, F. Infiltração – uma variável geomorfológica. **Caderno de Geografia**, 22 (38): 73-87, 2012.
- DIAS JÚNIOR, M. S. et al. Método alternativo de avaliação da pressão de preconsolidação por meio de um penetrômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28 (5): 805-810, 2004.
- DRESCHER, M. S. et al. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35(5): 1713-1722, 2011.
- EARTH DATA. Soil Moisture Passive-Active Available in: <<https://earthdata.nasa.gov/search?q=soil+moisture>> Accessed on: 04/05/2019.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5º ed., ver. e ampliada – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Grupo de inteligência Territorial Estratégica Available in: < <https://www.embrapa.br/gite/projetos/matopiba/matopiba.html>> Accessed on: 05/10/2019.
- FEITOSA, J. R. et al. Influência da pressão interna dos pneus e da velocidade de deslocamento nos parâmetros operacionais de um trator agrícola e nas propriedades físicas do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, 35 (1): 117-127, 2015.
- FIDALSKI, J. et al. Capacidade de suporte de carga do solo em sistemas de produção de laranja conservacionistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39 (3): 880-885, 2015.
- FONTANA, A. et al. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51 (9): 1457-1465, 2016.

- FONSECA, L. M. G. Processamento digital de imagens. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, (INPE). São José dos Campos: INPE, 2000. 105p.
- FUJACO, M. A. G.; LEITE, M. G. P.; NEVES, A. H. C. J. A gis-based tool for estimating soil loss in agricultural river basins. **REM – International Engineering Journal**, 69 (4): 417-424, 2016.
- GIRARDELLO, V. C. et al. Resistência a penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38 (4): 1234-1244, 2014.
- GRECCHI, R. C. et al. Análise espaço-temporal da conversão do Cerrado em áreas agrícolas na região de Sapezal, Mato Grosso, entre os anos de 1981 e 2011. **Revista Brasileira de Cartografia**, 68 (1): 91-107, 2016.
- GUBIANI, P. I. et al. Relação entre densidade do solo e conteúdo de água em repetidos ciclos de contração e expansão em um latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39 (1): 100-108, 2015.
- GUIMARÃES JÚNNYOR, W. S. et al. Soil compaction on traffic lane due to soil tillage and sugarcane mechanical harvesting operations. **Scientia Agricola**, 76 (6): 509-517, 2019.
- HIJMANS, R. J. Raster: Geographic data analysis and modeling. Package version 2.6.7. Available in: <<https://CRAN.R-project.org/package=raster>> Accessed on: 23/01/2020.
- INEMA. CBH Grande. Available in: <<http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/comites-de-bacias/comites/cbh-grande/>> Accessed on: 08/10/2020.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. Available in: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Accessed on: 24/04/2019.
- IORI, P. et al. Pressão de preconsolidação como ferramenta de análise da sustentabilidade estrutural de classes de solos com diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36 (5): 1448-1456, 2012a.
- IORI, P.; DIAS JÚNIOR, M. S.; SILVA, R. B. Resistência do solo à penetração e ao cisalhamento em diversos usos do solo em áreas de preservação permanente. **Bioscience Journal**, 28 (1): 185-195 2012b.
- IORI, P. et al. Influence of field slope and coffee plantation age on the physical properties of a red-yellow latosol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38 (1): 107-117, 2014.
- JENSEN, J. R. Introductory digital image processing. A remote sensing perspective, Upper Saddle River: Prentice Hall, 2005. 526p.
- JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: **Parêntese Editora**, Cap.11, 2009. 357-410p.
- JORGE, R. F. et al. Distribuição de poros e densidade de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. **Bioscience Journal**, 28 (1): 159-169, 2012.
- JOSEPH, M.; OAKLEY, M.; SCHIRA, Z. (NA). smapr: Acquisition and processing of NASA Soil Moisture Active-Passive (SMAP) Data. R package version 0.2.0. Available in: <<https://github.com/ropensci/smapr>> Accessed on: 18/09/2019.

- KAMIMURA, K. M. et al. Capacidade de suporte de carga de um latossolo vermelho-amarelo em uma lavoura cafeeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36 (5): 1457-1465, 2012.
- KAMIMURA, K. M. et al. Spatial variability of pre compression stress and volumetric water content of a red-yellow latosol (oxisol). **Bioscience Journal**, 36 (1): 142-151, 2020.
- KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Influência do manejo do solo na infiltração de água. **Revista Monografias Ambientais - REMOA**, 13 (5): 3915-3925, 2014.
- KUNDE, R. J. et al. Tensile strength, friability, aggregation, and soil organic matter physical fractions of an oxisol cultivated with sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 53 (4): 487-494, 2018.
- LAUSCH, A. et al. Linking remote sensing and geodiversity and their traits relevant to biodiversity – part I: soil characteristics. **Remote sensing**, 11 (20): 1-51, 2019.
- MA, C. et al. Multi-scale validation of SMAP soil moisture products over cold and arid regions in Northwestern China using distributed ground observation data. **Remote Sensing**, 9 (4): 1-14, 2017.
- MARASCA, I. et al. Capacidade de suporte de carga e densidade do solo em áreas de plantio direto com e sem escarificação. **Revista Energia na Agricultura**, 27 (4): 81-91, 2012.
- MAZURANA, M. et al. Sistemas de prepare de solo: Alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35 (4): 1197-1206, 2011.
- MEDEIROS, A. R. et al. Avaliação da compactação do solo por meio de um ensaio oedométrico. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 10 (3): 09-22, 2015.
- MENDES, W. S. et al. Is it possible to map subsurface soil attributes by satellite spectral transfer models?. **Geoderma**, 343: 269-279, 2019.
- MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Universidade de Brasília: Brasília, 2012. 276p.
- MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. Atlas hidrológico da bacia hidrográfica do rio Grande. **Editora Gazeta Santa Cruz**, 2010. 80p.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. Landsat Science. Available in: <<https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-bands/>> Accessed on: 05/12/2019.
- NASCENTE, A. S.; LI, Y. C. CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops and no-till effects on physical fractions of soil organic matter. **Soil and Tillage Research**, 130: 52-57, 2013.
- NASCIMENTO, O. S. et al. Análise espaço-temporal do uso e cobertura da Terra da bacia hidrográfica do alto paraim – Piauí. **Revista Geoambiente ON-LINE**, 32: 210-230, 2018.
- NEIVA JÚNIOR, E. et al. Compressibility and penetrability of latossolo vermelho-amarelo distrófico (oxisol) under varied management systems and land uses. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39 (1): 86-93, 2015.
- NGOLO, A. O. et al. Soil physical quality after 21 years of cultivation in a Brazilian Cerrado Latosol. **Journal of Agricultural Science**, 11 (3): 124-136, 2019.

- ORTIGARA, C. et al. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38 (2): 619-626, 2014.
- PARENTE, H. N.; MAIA, M. O. Impacto do pastejo sobre a compactação dos solos com ênfase no semiárido. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, 5 (3): 3-15, 2011.
- PEDESMA, E. J.; BIVAND, R. S. Classes and methods for spatial data in R. **R News** 5, (2). 2005.
- PEREIRA, V. R.; TEIXEIRA FILHO, J. Identificação das áreas susceptíveis aos processos erosivos em bacias do Sistema Cantareira por meio de diferentes cenários. **Acta Scientiarum Agronomy**, 31 (1): 155-163, 2009.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. KUPLICH, T. M. Sensoriamento Remoto da Vegetação. Ed. Atualizada e ampliada – São Paulo: **Oficina de Textos**, 2012. 176 p.
- PRAGANA, R. B. et al. Qualidade física de Latossolos amarelos sob plantio direto na região do Cerrado Piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36 (3): 1591-1600, 2012.
- QGIS Development Team, Access in: < <http://qgis.osgeo.org> 2019>. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project.
- R Core Team R. **A Language and Environment for Statistical Computing**. Available in: < <https://www.R-project.org> > Accessed on: 15/10/2019.
- REICHLER, R. H. et al. Assessment of the SMAP level-4 surface and root-zone soil moisture product using in situ measurements. **Journal of Hydrometeorology**, 18 (10): 2621-2645, 2017.
- RIBEIRO, H. J. et al. Distribuição da pluviometria, NDVI e umidade do solo nos biomas brasileiros. in: Pantanal [recurso eletrônico] : o espaço geográfico e as tecnologias em análise / Organizador Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. 94-106 p.
- ROSA, D. P et al. Métodos de obtenção da capacidade de suporte de carga de um argissolo cultivado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35 (5): 1561-1568, 2011.
- SANCHES, I. D. A. et al. Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5 – TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI. In: **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, INPE, 7564-7571, 2011.
- SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14 (2): 115-123, 2010.
- SANTOS, J. N.; PEREIRA, E. D. Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do Rio Maracanã. **Cadernos de Pesquisa**, 20 (especial): 63-71, 2013.
- SANTOS, G. L. et al. Natural regeneration in anthropogenic environments due to agricultural use in the Cerrado, Uberaba, MG, Brazil. **Bioscience Journal**, 33 (1): 169-176, 2017.
- SANTOS, C. A. P.; SANO, E. E.; SANTOS, P. S. Fronteira agrícola e a dinâmica de uso e ocupação dos solos no Oeste da Bahia. **ACTA Geográfica**, 12 (28): 17-32, 2018.

- SCHJØNNING, P.; LAMANDÉ, M. Models for prediction of soil precompression stress from readily available soil properties. **Geoderma**, 320: 115-125, 2018.
- SDE. Secretária de Desenvolvimento Econômico da Bahia. Meio Ambiente na Bahia. Available in: <<http://www.cbpm.ba.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=22>> Accessed on: 22/01/2020.
- SEVERIANO, E. C. et al. Potencial de uso e qualidade estrutural de dois solos cultivados com cana-de-açúcar em Goianésia (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33 (1): 159-168, 2009.
- SEVERIANO, E. C. et al. Preconsolidation pressure, soil water retention characteristics, and texture of latosols in the Brazilian Cerrado. **Soil Research**, 51 (3): 193-202, 2013.
- SILVA, A. R. et al. Modelagem da capacidade de suporte de carga e quantificação dos efeitos das operações mecanizadas em um latossolo amarelo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30 (2): 207-216, 2006.
- SILVA, S. G. C. et al. Temporary effect of chiseling on the compaction of a rhodic hapludox under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36 (2): 547-555, 2012.
- SILVA, F. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A. Crescimento inicial da cultura da soja em latossolo Bruno com diferentes graus de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38 (6): 1731-1739, 2014.
- SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. S. SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. **Revista de Geografia**, 31 (2): 66-87, 2014.
- SILVA, A. R.; LIMA, R. P. An R package to determine soil preconsolidation. **Computer & Geosciences**, 84: 54-60, 2015.
- SILVA, R. B. et al. Contact pressures and the impact of farm equipment on latosol with the presence and absence of sugarcane straw. **Ciência e Agrotecnologia**, 40 (3): 265-278, 2016.
- SILVA, J. S.; SILVA, R. M.; SILVA, A. M. Mudanças do uso e ocupação do solo e degradação ambiental usando imagens orbitais: o estudo de caso da bacia do rio Bacanga, São Luís (MA). **Revista Brasileira de Geografia Física**, 9 (1): 265-279, 2016.
- SILVA, A. S.; ROSA, R. Mapa de capacidade e potencial do uso da terra do município de Catalão (GO). **Caderno de Geografia**, 29 (59): 954-977, 2019.
- SOARES, M. D. R. et al. Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. **Revista de Ciências Agrárias, Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, 59 (1): 9-15, 2016.
- STEFANOSKI, D. C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 17 (12): 1301-1309, 2013.
- TARBOTON, D. TauDEM hydrology Research Group. Available in: <<http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5/>> Accessed on: 18/07/2019.
- TORRES, J. L. R. et al. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39 (2): 428-437, 2015.

USGS. United State Geological Survey. Landsat Missions. Available in: <
<https://earthexplorer.usgs.gov/>> Accessed on: 18/07/2019.

VISCHI FILHO, O. J. et al. Capacidade de suporte de carga de latossolo vermelho cultivado com cana-de-açúcar e efeitos da mecanização no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 50 (4): 322-332, 2015.

YOUNIS, S. M. Z.; IQBAL, J. Estimation of soil moisture using multispectral and FTIR techniques. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences**, 18 (2): 151-161, 2015.



**INSTITUTO
FEDERAL**

Goiano

Campus
Urutaí

