

QUALIDADE FÍSICA DOS SOLOS E SUA RELAÇÃO COM O USO DA TERRA NA BACIA DO RIO URUBU, TOCANTINS

Physical quality of soils and its relationship with the land use in the Urubu river watershed, Tocantins

Calidad física de los suelos y su relación con el uso de la tierra en la Cuenca del Río Urubu, Tocantins

Fábio da Costa Silva
Universidade Federal do Tocantins
ambiental.costa@gmail.com

Fernando de Moraes
Universidade Federal do Tocantins
morais@mail.uft.edu.br

Resumo

O presente estudo descreve o uso, a cobertura da terra e caracterizar a qualidade física de amostras de solos na bacia do rio Urubu, Tocantins. A análise do uso e ocupação da terra foi realizada por meio de classificação supervisionada de imagens do satélite LANDSAT 8. Por meio do programa Qualisol[®], foi calculado o índice S para 15 amostras de solo distribuídas entre as categorias de uso de cobertura identificadas, considerando os parâmetros físicos: densidade globais, de partícula e granulometria. Observou-se que mais de 40% das terras da bacia foram antropizadas, e todas as amostras de solo obtiveram valores de índice S inferiores a 0.035, sendo, portanto, proveniente de solos de baixa qualidade física e possivelmente degradados. Faz-se necessária a adoção de práticas de manejo do solo que sejam mais sustentáveis a fim de garantir o uso eficiente do solo. Recomenda-se a realização de um estudo focado na qualidade física dos solos cujos usos causem mais danos ambientais à bacia, tendo como suporte uma análise multitemporal dos usos e cobertura da terra.

Palavras-Chaves: Uso e ocupação da terra, Qualisol[®], índice S, Degradação, Rio Urubu.

Abstract

This study aims to describe the land use and land cover, as well as to characterize the physical quality of soil samples in the Urubu river basin, Tocantins. Land use and occupation analysis was performed by a supervised classification of LANDSAT 8 satellite images. By operating Qualisol[®] program, the S index was calculated for 15 soil samples distributed among the identified land use categories, considering the physical parameters: bulk density, particle density and particle size. It was observed that over 40% of the watershed lands were anthropized, and all soil samples obtained S-index values inferior to

0,035, and therefore, they were extracted from low physical quality soil. It is necessary to adopt sustainable soil practices in order to assure an efficient soil use. It is recommended to conduct a study focused on the physical quality of soils whose uses cause more environmental damage to the basin, supported by a multitemporal analysis of land uses and land cover.

Key-words: Land cover and land use, Qualisolo®, S index, Degradation, Urubu river.

Resumen

El manuscrito describe el uso, la cobertura de la tierra y caracteriza la calidad física de muestras de solos en la Cuenca del Río Urubu, Tocantins. El análisis del uso y ocupación de la tierra fuera realizada a través de clasificación supervisada de imágenes del satélite LANDSAT 8. A través del programa Qualisolo®, fuera calculado el índice S para 15 muestras de suelo distribuidas entre las categorías de uso de coberturas identificadas, considerando los parámetros físicos: densidad globales, de partícula y granulometría. Se ha observado que más de 40% de las tierras de la cuenca fueran antropizadas, y todas las muestras de suelo obtuvieron valores de índice S inferiores a 0.035, siendo, por lo tanto, proveniente de suelos de baja calidad física y posiblemente degradados. Es necesario la adopción de prácticas de gestión del suelo que sean más sostenibles a fin de garantizar el uso eficiente del suelo. Se recomienda la realización de una investigación con enfoque en la calidad física de los suelos cuyos usos resulten más dañinos al ambiente de la cuenca, en este caso, con utilización como soporte de un análisis multitemporal de los usos y cobertura de la tierra.

Palabras-clave: Uso y ocupación de la tierra, Qualisolo®, índice S, Degradación, Río Urubu.

Introdução

A transformação do espaço geográfico ao longo dos anos tem sido foco de muitos estudos ambientais, pois entende-se que as atividades humanas se tornaram cada vez mais decisivas nos processos de alteração da paisagem. Dessa forma, dentro do estudo da paisagem, a caracterização do uso e cobertura do solo é uma ferramenta essencial para analisar a dinâmica física e sociocultural do espaço. Tal instrumento faz uso de uma visão mais integrada entre sociedade e o meio, sendo que a abordagem contemporânea dos estudos de uso e cobertura da terra é também fruto da evolução do pensamento geográfico (IBGE, 2013).

A agência norte-americana de Administração Oceânica e Atmosférica Nacional – NOAA (2018) explica que o termo “uso da terra” se refere à maneira como o homem usa/interage com a terra (superfície), isto é, com o fim de explorá-la por vias sustentáveis ou não.

A terminologia “cobertura do solo” está vinculada a cobertura física da terra, como por exemplo, florestas, áreas alagadas, superfícies impermeáveis e corpos hídricos. A

caracterização da cobertura do solo pode ser feita por meio de cenas obtidas de sensores atmosféricos e imagens aéreas (JASEN, GREGORIO, 2002; COMBER WADSWORTH, FISHER, 2008).

Com a maior disponibilidade de satélites, e conseqüentemente, da melhoria na resolução e processamento digital de imagens, estudos ambientais recentes têm apresentado uma tendência de apenas registrar e classificar a “cobertura do solo” em detrimento do “uso do solo”. Tal tendência é mais comum em levantamentos de grande escala. Apesar disso, é necessário ratificar que a componente socioeconômica da terminologia “uso do solo” tem implicações culturais e políticas, as quais não podem ser detectadas por meio de algoritmos modernos (FISHER, WADSWORTH, 2005; COMBER et al. 2016). Portanto, o uso da terra não é determinado diretamente por meio do processamento de imagens obtidas por satélite, mas sim pela interpretação visual do pesquisador (COMBER, WADSWORTH, FISHER, 2008).

IBGE (2013) destacou que os estudos do uso e cobertura do solo devem trilhar uma rota teórico-metodológica que adotem técnicas qualitativas e quantitativas respaldados na coleta de dados, classificação e posterior exposição dos resultados. Dessa forma, a implementação de geotecnologias (sistemas de informações geográficas e imagens com resolução adequada) facilita a identificação e classificação das feições da superfície da terra.

No Brasil, a evolução nas formas de uso da terra tornou-se mais expressiva no século XX, sendo que a criação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE possibilitou a organização de estudos de uso e cobertura da terra com o apoio paralelo de outras organizações estatais como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (IBGE, 2013).

Na década de 1980, as expedições do Programa RADAM e RADAM Brasil tiveram o objetivo de mapear não apenas as feições físicas da terra, como também questões socioeconômicas do país. Posteriormente, o RADAM Brasil uniu-se ao IBGE e, desde então, as ações destes tiveram um enfoque em análises regionais com vistas ao ordenamento territorial. Quanto aos estudos de uso e cobertura da terra notou-se um direcionamento à análise diagnóstica e ao zoneamento ambiental (IBGE, 2013).

A compreensão da dinâmica de organização do espaço geográfico é fundamental para o planejamento do uso regulamentado de serviços e recursos ambientais de uma região. Nesse sentido, é bastante pertinente a execução de estudos de uso e ocupação do solo em

bacias hidrográficas que são intensivamente exploradas por atividades humanas, uma vez que os compartimentos ambientais dessas áreas estão mais suscetíveis às alterações de natureza física, química, biológica e social.

Na busca por índices de sustentabilidade que contribuam com a gestão de recursos naturais, Dexter (2004) propôs avaliar a qualidade dos solos temperados por meio do índice S, o qual diagnostica o quão impactada se encontra a estrutura física do solo. O índice é capaz de determinar se um dado solo está degradado ou não, e dessa forma, permite aos gestores de bacia propor ações mitigadoras e compensatórias e, quando necessário, a implementação de um plano de recuperação de áreas degradadas (TORMENA et al. 2008; SOUZA, BONOMO, PIRES 2015).

No Tocantins, a bacia do rio Urubu tem se destacado por sua disponibilidade hídrica e relevo favoráveis ao cultivo de leguminosas e cereais em regiões de várzea (TOCANTINS, 2007; LACERDA FILHO, 2013). Além disso, esta bacia tem potencialidades turísticas e áreas passíveis de mineração (DUTRA; ADORNO; SENNA, 2015). No contexto de diversidade biológica, o rio Urubu drena uma área de transição entre biomas e, portanto, sua bacia é o habitat de uma fauna e flora adaptadas às condições ecotonais (MARTINS et al., 2006; BISPO, 2015).

As características naturais da área em estudo a tornam bastante atrativa às atividades do agronegócio, as quais têm impulsionado o aumento do percentual da composição do PIB dos municípios que integram a bacia (SANTOS, RABELO, 2008).

Em 2016, a região da planície do Araguaia foi bastante impactada pelo severo período de estiagem que causou um forte déficit hídrico, cujos efeitos repousaram não somente nas comunidades ribeirinhas e indígenas, mas também reduziram consideravelmente a vazão dos maiores rios daquela região. Dentre as bacias que foram afetadas, a bacia do Rio Urubu foi citada com frequência na mídia em virtude dela aportar grandes projetos de irrigação voltado para o cultivo de grãos (FLEISHMANN, 2016; MORAIS, NOLETO JÚNIOR, MARTINS, 2017).

Considerando o contexto de vulnerabilidade hídrica que a bacia do rio Urubu começa a enfrentar, faz-se necessário a implementação de estratégias de gestão voltadas a conservação do solo, assim como a adoção de práticas sustentáveis no manejo da terra, pois a medida que os solos da bacia ficam mais degradados, as taxas de infiltração no solo diminuem, fato esses que provocam os volumes precipitados tendem a escoar,

ocasionando a perda de solo por erosão e o assoreamento dos cursos d'água devido ao aporte de sedimentos (MINELLA et al., 2015).

Dado os cenários atuais de exploração dos recursos naturais na região do rio Urubu, o presente estudo busca identificar as classes de uso e cobertura da terra na bacia do rio Urubu, Estado do Tocantins, e posteriormente, avaliar a qualidade da estrutura física dos solos dessas classes por meio do índice S.

Material e métodos

Área de estudo

Localizada na região sudoeste do Estado do Tocantins, a bacia do rio Urubu drena uma área de 2640 km², a qual representa 0.97% da área total do Estado. A bacia do rio Urubu abrange partes de sete municípios, sendo eles: Cristalândia, Crixás do Tocantins, Fátima, Lagoa da Confusão, Pium, Nova Rosalândia e Santa Rita do Tocantins. A bacia se estende dentro do quadrante de coordenadas geográficas com 49° 15' 2" e 48° 57' 52" de Longitude Oeste e, 10° 30' 3" e 11° 4' 37" de Latitude Sul (Figura 1).

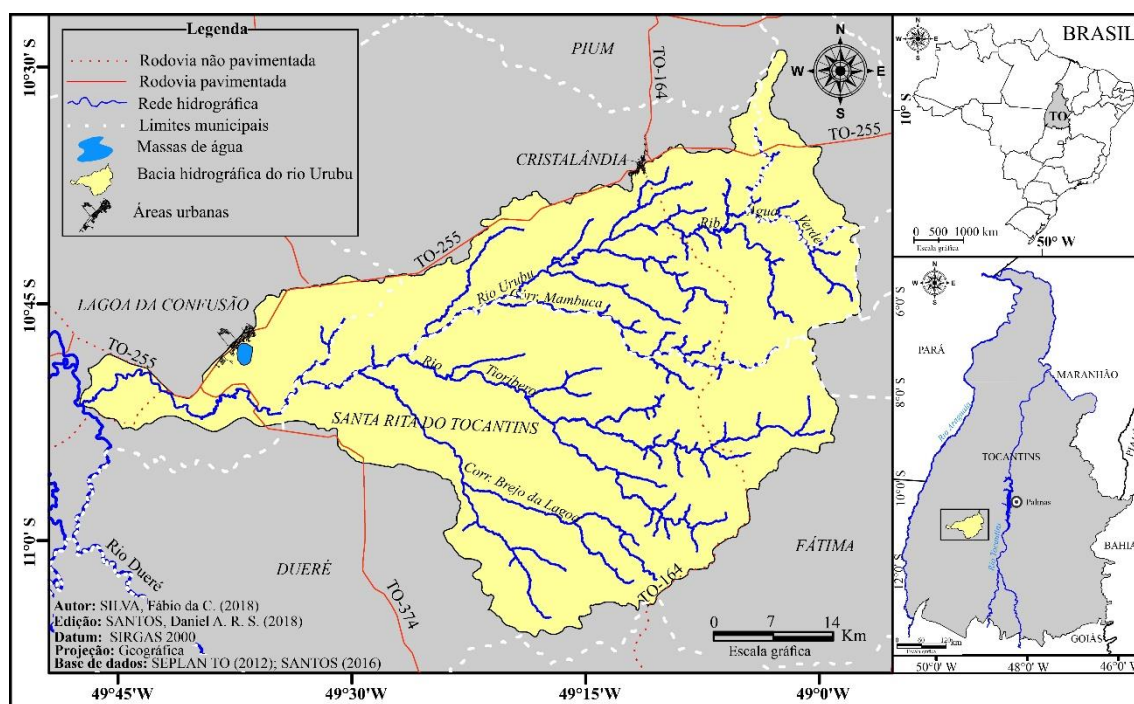


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

Fonte: Organizado pelos autores e digitalizado por Daniel Santos.

A Figura 1 permite visualizar os principais acessos à área de pesquisa. Destacam-se as rodovias pavimentadas TO-255 e TO-374, as quais, respectivamente, cortam a bacia nos sentidos Sul-Norte e Leste-Oeste. Outra importante rodovia estadual não pavimentada que percorre a bacia de norte a sul é a TO-164, a qual conecta os municípios de Cristalândia e Aliança do Tocantins.

A região norte da bacia é drenada pelo ribeirão Barreiro, enquanto o lado sul apresenta o rio Tioribero como o contribuinte mais expressivo. No exutório da bacia observou-se que a vazão de referência para 90% dos dados de descarga – Q90 - é de 1.245 m³/s no período de estiagem e 28.627 m³/s na fase mais úmida (FIQUEROA, 2017).

É válido destacar que a bacia do rio Urubu é uma das seis sub-bacias que compõem o sistema do rio Formoso. Nesse contexto, o rio Urubu é responsável por escoar os volumes precipitados nas porções norte da bacia do rio Formoso, sendo que esta, posteriormente, contribui para o rio Araguaia.

No que se refere aos aspectos geomorfológicos, no baixo curso da bacia do rio Urubu são encontrados depósitos sedimentares inconsolidados, os quais estão associados à Planície Araguaia-Javaés e às Planícies Indiscriminadas ao longo do leito do rio Urubu (SEPLAN, 2012).

Outros domínios presentes na região são os Patamares do Interflúvio Araguaia-Tocantins, que correspondem às áreas de maior altitude (entre 250 e 300 m), sendo dessa forma, importantes para a recarga hídrica da bacia (MARTINS, 2004). A unidade geomorfológica denominada de Depressão do Médio Araguaia, localmente representada pela Depressão Urubu-Dueré, intercala as planícies e o patamares anteriormente descritos (SEPLAN, 2008).

Tal como grande parte do Estado do Tocantins, a região do vale do Rio Urubu recebe chuvas entre os meses de setembro e abril, enquanto no outro intervalo as temperaturas tendem a ficar mais elevadas e com acentuada queda nos índices de umidade relativa do ar, e conseqüentemente, da pluviosidade. A temperatura média anual varia de 25 a 26°C, com precipitação média 1800 a 2000 mm (SEPLAN, 2012).

Pela classificação climática de Thornthwaite, a maior parte da bacia tem clima úmido com moderada deficiência hídrica no período de estiagem (B1wA'á'), em que a evapotranspiração potencial apresenta uma variação média anual entre 1400 e 1.700 mm. Na sua porção oeste, a bacia se caracteriza pelas condições de clima úmido subúmido com

moderada deficiência hídrica no inverno (C2wA´a´´), e evapotranspiração média anual em torno de 1500 mm (SEPLAN, 2012).

As condições climáticas e topográficas colaboraram para a predominância de Gleissolos, Plintossolos e Latossolos Vermelho-Amarelos. As áreas adjacentes aos rios são fortemente influenciadas pela dinâmica do lençol freático, e por isso, nessas áreas são encontrados Gleissolos e Plintossolos, que se distinguem pelo fato de que os Gleissolos apresentarem cor acinzentada nos primeiros 60 cm do horizonte A (EMBRAPA, 2018).

Observa-se que as variações do lençol freático proporcionam reações de oxidação e redução, responsáveis pelas cores existentes nos perfis dessas duas classes de solo. Os Latossolos Vermelho Amarelo estão localizados nas áreas de recarga, isto é, ao norte e nordeste da bacia onde são registradas maiores altitudes. Tais solos apresentam uma melhor drenagem e são em geral, bem intemperizados, o que explica a profundidade alcançada pelos mesmos (EMBRAPA, 2018).

As formações geológicas da bacia estão circunscritas ao Grupo Tocantins, que é constituído pelas Formações Couto Magalhães e Pequizeiro. Essas formações apresentam fácies metamórficas de filito, quartzitos, ardósias, xistos, muscovita-clorita-quartzo, metarenitos, metacosios e metacalcários. Ambas as formações se encontram sobrepostas por sedimentos quarternários pertencentes à Cobertura Sedimentar do Bananal. A Formação Araguaia, também chamada de Cobertura Sedimentar do Bananal é composta por sedimentos inconsolidados que formam uma camada de 170 a 320 m de espessura (GORAYEB, 1981, 2011; PEREIRA; MORAIS, 2012).

Foram selecionadas as cenas 222/068 e 223/067 do satélite LANDSAT 8, sensor OLI, com datas de passagem em 28/08/2017 e 18/07/2017, respectivamente. Tais cenas, já georreferenciadas, foram obtidas gratuitamente na plataforma do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. Com o auxílio do programa de sistema de informações geográficas QGIS versão 2.18 - Las Palmas, as imagens foram pré-processadas com o objetivo de realizar correções geométricas. As imagens foram também realçadas a fim de melhorar a visibilidade das feições, e por fim, submetidas à técnica de classificação supervisionada, em que as classes foram identificadas por meio de similaridade das amostras de cada classe conforme apontadas pelo usuário.

A nomenclatura das classes adotadas neste trabalho foi extraída de IBGE (2013). Foram usadas as seguintes classes: área urbana, agricultura, agropecuária, formações florestais,

formações savânicas e águas continentais. As classes identificadas foram destacadas com as cores que também foram fornecidas pelo Manual de cobertura e uso da terra do IBGE.

Uma vez que a área de estudo apresenta uma diversidade de atividades agrícolas, para simplificar a análise, quando as feições remeteram a culturas temporárias ou permanentes, tais atividades foram agrupadas em “agricultura”. Enquanto o termo “agropecuária” foi usado no sentido de compreender as atividades de trato de animais de pequeno a grande porte (IBGE (2013).

A distribuição dos pontos para coleta levou em consideração às variedades de solos, usos e cobertura identificados em etapas anteriores deste mesmo estudo. Além disso, a distribuição dos pontos utilizou da análise do índice de diferença normalizada de água (NDWI em inglês) com intuito de identificar áreas da bacia com o potencial de acumulação de água conforme indicado por GAO (1996). Assim, buscou-se contemplar todas as classes identificadas pelo estudo de cobertura e uso do solo, sendo que um total de 15 áreas foram selecionadas.

Foi atribuída uma pontuação para cada classe de solo da bacia de acordo com o seu comportamento quanto à drenagem natural (Quadro 1). Foram atribuídos valores entre 1 e -1, uma vez que o mesmo intervalo é registrado pelos valores de NDWI (BRENNER; GIASSELLI, 2015). Os Gleissolos receberam o valor máximo em virtude dessa classe se encontrar permanentemente ou periodicamente saturados por água. Os Latossolos receberam a menor pontuação em virtude de apresentarem uma melhor drenagem e maior profundidade (EMBRAPA, 2018).

Quadro 1 – Classes de solo e respectiva pontuação quanto à capacidade de drenagem

| Solos | Pontuação |
|--------------|-----------|
| Latossolos | 0 |
| Plintossolos | 0,75 |
| Gleissolos | 1 |

Fonte: EMBRAPA (2018).

A álgebra dos mapas foi realizada com o auxílio do programa ESRI Arcgis, versão 2010, conforme as seguintes etapas:

1. Foram processadas a camada de NDWI e a camada com as classes dos solos cuja pontuação fora previamente adicionada à tabela de atributos (Quadro 1). A camada obtida na álgebra apresentou pixels cujos valores podiam variar entre 1

e -1, sendo que quanto mais próximo de 1, mais significativa era a interação do solo com a água, quer seja por acumulação (NDWI) ou por drenagem insuficiente.

2. A camada gerada pela álgebra foi sobreposta à camada contendo as classes de uso e cobertura do solo. Dessa forma, selecionou-se áreas da bacia que tiveram pontuações elevadas (próximas a 1) e que contemplassem todas as categorias de uso de cobertura do solo da bacia em estudo.

Índice S de qualidade do solo

O cálculo do índice S demandou a realização de campanhas de coleta de amostras de solos da bacia do rio Urubu, pois o índice leva em consideração valores de densidade global do solo, densidade de partícula e as porcentagens das frações granulométricas e respectivos diâmetros de partícula.

O índice S determina a qualidade física dos solos por meio do ponto de inflexão do modelo da curva retenção de água dos solos estudados. Maia (2011) mostrou que solos com valores de índice S superiores a 0.035 são fisicamente bem estruturados. Por outro lado, solos que apresentam índices S inferiores a este valor, estão associados a solos de qualidade física baixa ou ruim.

A concepção do índice S baseia-se no conceito de que solos com boa qualidade física apresentam características estruturais que condicionam o bom funcionamento físico deste. Dessa forma, fatores como textura, matéria orgânica e porosidade podem influenciar nos valores de índice S obtidos (DEXTER, 2004). Além de manter uma boa estrutura, resistir às pressões e à compactação, um solo de boa qualidade deve também proporcionar o crescimento radicular e possuir taxas de infiltração que colaborem no armazenamento de água (TOPP et al., 1997).

Para obter o índice S foi necessário o uso do programa Qualisolo® – Embrapa Solos. O programa possui uma interface que permite a inserção das seguintes variáveis físicas das amostras de solo: densidade global (g/cm^3), frações texturais (%) com respectivos diâmetros de partícula e a densidade de partícula (g/cm^3). O algoritmo do programa considera o modelo de Arya e Paris (1981) para estimar a curva de retenção de água do solo e, posteriormente, identifica o ponto de inflexão da curva de retenção (Equação 1), obtendo assim, o índice S da amostra (NANIERE et al., 2009; DEXTER, 2004).

$$S = -n(\theta_{Sat} - \theta_{res}) \left[1 + \frac{1}{m} \right]^{-(1+m)} \quad 1$$

Onde S, θ_{Sat} e θ_{res} são, respectivamente, índice S (adimensional) e as umidades de saturação e residual, em kg/kg, e n e m ($m = 1-1/n$) são parâmetros empíricos adimensionais de ajuste (DEXTER, 2004).

Resultados e discussão

A Tabela 1 fornece as áreas das classes de cobertura e usos identificados, assim como as respectivas porcentagens em relação à área total da bacia. Observa-se que mais de 40% das terras da bacia do rio Urubu foram ocupadas por atividades de intensa intervenção antrópica, sendo que a agropecuária foi o uso de maior destaque, uma vez que, dentro da escala de observação, correspondeu a 30 % das terras circunscritas na área de estudo.

Tabela 1 – Distribuição percentual do uso e da cobertura das terras da bacia do rio Urubu.

| Classes | Área (km ²) | % |
|----------------------------|-------------------------|------------|
| Águas continentais | 15,84 | 0,6 |
| Formações Florestais | 493,68 | 18,7 |
| Formações Savânicas | 1032,24 | 39,1 |
| Pastagens | 792 | 30,0 |
| Agricultura temporária | 295,68 | 11,2 |
| Áreas Urbanizadas | 13,2 | 0,5 |
| Área total da bacia | 2642,64 | 100 |

Fonte: Elaborado pelos autores.

As áreas urbanizadas foram destacadas em vermelho na Figura 2. A mancha de urbanização representou 0,5% da área total da bacia do rio Urubu, correspondendo aos dois municípios mais populosos da bacia: Lagoa da Confusão e Cristalândia. De acordo com IBGE (2010a, 2010b), as densidades demográficas para a Lagoa da Confusão e Cristalândia foram, respectivamente, 0,97 hab/km² e 3,91 hab/km². Os baixos índices demográficos podem ser atribuídos ao tamanho da área de cada município, uma vez que ambos não apresentaram grandes contingentes populacionais.

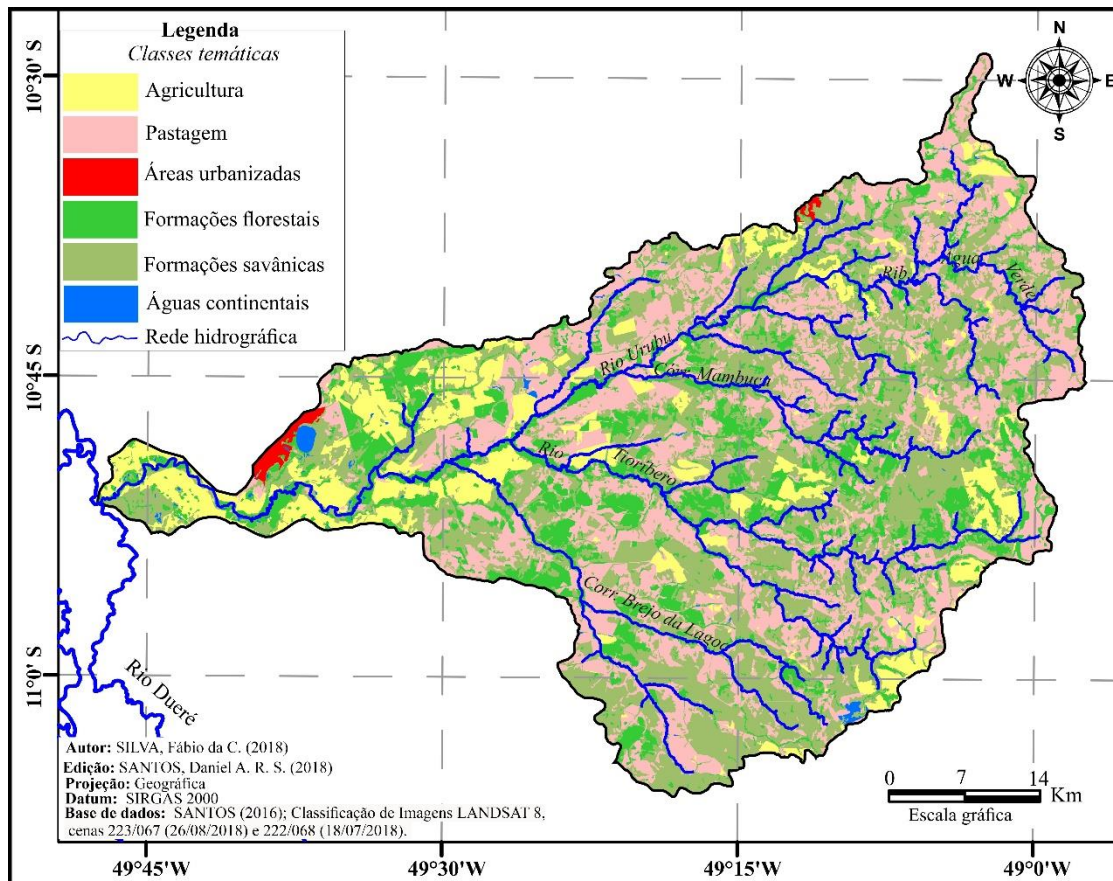


Figura 2 – Mapa de uso e cobertura da bacia do rio Urubu, TO.
 Fonte: Organizado pelos autores e digitalizado por Daniel Santos

Ambas as cidades, Cristalândia e Lagoa da Confusão, possuem históricos de ocupação vinculados às atividades minerais, no entanto, a expansão das fronteiras agrícolas sobre o Cerrado tocantinense alterou a estrutura econômica regional, de modo que, a matriz de atividades agropecuárias geradoras de renda se tornou mais diversificada e mais produtiva. A Tabela 2 apresenta dados a respeito das áreas de cereais e grãos colhidas nos anos de 2010 e 2015 (IBGE, 2019). Conforme verificado, o município da Lagoa da Confusão teve um considerável aumento na área colhida, com destaque para produção de soja, arroz e melancia.

Tabela 2 - Áreas utilizadas pelo cultivo de arroz, milho, melancia e soja nos municípios de Lagoa da Confusão e Cristalândia no intervalo de 2010-2015.

| Municípios | Cultura | Área (hectares) | | |
|-------------------|----------|-----------------|-------|---------|
| | | 2010 | 2015 | % |
| Lagoa da Confusão | Arroz | 31000 | 43600 | 40,65 |
| | Milho | 60 | 2700 | 4400,00 |
| | Melancia | 2080 | 8000 | 284,62 |
| | Soja | 13000 | 43824 | 237,11 |
| Cristalândia | Arroz | 2450 | 3100 | 26,53 |
| | Milho | 500 | 120 | -76,00 |
| | Melancia | - | - | - |
| | Soja | * | 3250 | - |

Fonte: IBGE – Produção Agrícola Municipal (2019)

Nota: * Não houve registro de plantio de soja em 2010.

A região do baixo rio Urubu possui projetos agrícolas sob condições de irrigação. Foram feitos volumosos investimentos para a implementação do Projeto Lagoa da Confusão, o qual integra o Projeto de Irrigação das Várzeas do Araguaia conforme estabelecido no Programa Estadual de Irrigação – PEI (BISPO, 2015; MORAIS, NOLETO JÚNIOR, MARTINS, 2017).

Em 2016, a bacia do rio Urubu enfrentou um severo período de estiagem que comprometeu a vazão de seus cursos d'água. O cenário de *déficit* hídrico culminou na interrupção da captação de água do rio Urubu, pois as agências reguladoras suspenderam temporariamente as outorgas em virtude dos riscos ambientais inerentes a uma situação de escassez. Apesar da questão climática, Alves et al. (2015) destacaram que o conflito de uso, gerado principalmente pelas atividades agropecuárias, contribui no processo de deterioração da qualidade dos recursos hídricos da região sudoeste do Tocantins, assim como na diminuição da disponibilidade dos mesmos, uma vez que tais atividades reduzem a função ambiental das áreas naturais de proteção (matas ciliares) dos recursos hídricos.

Sousa (2018) evidencia que a variedade de uso e ocupação do solo existente na bacia do Urubu impacta a qualidade físico-química de corpos hídricos superficiais e subterrâneos. O autor alerta para as condições de vulnerabilidade das formações cársticas da bacia as quais são influenciadas pelas alterações sazonais do lençol freático. Nesse sentido, a forte presença de atividades agropecuárias na área de estudo pode levar a deterioração da qualidade das águas subterrâneas, pois diante da necessidade do aumento de produtividade e dos danos causados por pragas às lavouras, os produtores empregam

defensivos agrícolas e fertilizantes que, sob condições de plantio irrigado ou alagado, podem impactar os corpos hídricos subterrâneos. Além disso, o uso de maquinário agrícola pode ocasionar a compactação das camadas superiores, e dessa forma, diminuir a infiltração de água, reduzindo as áreas de recarga do aquíferos (MENEZES, 2012).

A Tabela 3 apresenta os valores de índice S das amostras de solo e seus respectivos valores de densidade global e porosidade total.

Tabela 3 – Valores de Índice S, porosidade, densidade global e frações texturais das amostras coletas.

| Ponto | Classe de Uso e Cobertura da terra | Índice S | Densidade Porosidade | | Qualidade do Solo | Areia % | Silte % | Argila % |
|-------|------------------------------------|----------|-----------------------------|-----------|-------------------|---------|---------|----------|
| | | | Global (g/cm ³) | Total (%) | | | | |
| | Áreas Urbanizadas | 0,01493 | 1,5 | 44,44 | Pobre | 39,1 | 13,7 | 47,2 |
| | Áreas Urbanizadas | 0,01981 | 1,19 | 55,93 | Pobre | 24,6 | 23,4 | 51,9 |
| | Formação Savânica | 0,01619 | 1,61 | 40,37 | Pobre | 66,3 | 12,5 | 21,1 |
| | Agricultura Temporária | 0,02747 | 1,35 | 49,44 | Pobre | 73 | 10,4 | 16,5 |
| | Agricultura Temporária | 0,00838 | 1,44 | 45,25 | Pobre | 16,8 | 17,8 | 65,4 |
| | Pastagens | 0,00789 | 1,58 | 41,48 | Pobre | 26,3 | 11,4 | 62,2 |
| | Pastagens | 0,02091 | 1,48 | 43,73 | Pobre | 70,7 | 7,6 | 21,7 |
| | Formações Savânicas | 0,02455 | 1,38 | 47,53 | Pobre | 55,9 | 13,2 | 30,9 |
| | Pastagens | 0,03378 | 1,36 | 49,63 | Pobre | 72,3 | 9,9 | 17,8 |
| | Formações Florestais | 0,03202 | 1,04 | 56,30 | Pobre | 36,2 | 19,8 | 44 |
| | Pastagens | 0,01855 | 1,5 | 45,26 | Pobre | 50,6 | 14,7 | 34,6 |
| | Pastagens | 0,01848 | 1,34 | 49,05 | Pobre | 51,2 | 5,1 | 43,7 |
| | Pastagens | 0,01721 | 1,61 | 41,24 | Pobre | 67,6 | 4,6 | 27,7 |
| | Formações Savânicas | 0,02109 | 1,34 | 50,37 | Pobre | 48,4 | 6 | 45,5 |
| | Formações Savânicas | 0,01171 | 1,79 | 33,70 | Pobre | 65 | 9,9 | 25,1 |
| | Médias | 0,020 | 1,43 | 46,25 | - | 50,93 | 12 | 37,02 |

| Coeficiente de Variação (%) | 39.00 | 12.76 | 12.85 | - |
|--------------------------------|-------|-------|-------|---|
|--------------------------------|-------|-------|-------|---|

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os dados referentes à densidade global variaram entre 1,04 g/cm³ e 1,79 g/cm³, resultando no baixo coeficiente de variação de 12,76%. A porosidade total das amostras teve um coeficiente similar, alcançando o valor de 12,85%. Observa-se ainda que todas as amostras possuem baixa qualidade física.

A amostra S6 apresentou o menor valor de índice S do grupo analisado. Sua densidade global foi de 1,58 g/cm³. Contudo, na Tabela 3, observou-se que a densidade global da amostra S6 foi ligeiramente acima da média do grupo, e ainda que tal variável seja uma importante componente física utilizada no cálculo do índice S, isoladamente, ela não justifica as variações de índice S, pois as amostras possuem diferentes distribuições texturais.

A fração argila constituiu 62,2% da amostra S6, e por isso, a amostra tende a formar uma maior quantidade de microporos se comparada às amostras arenosas (Tabela 3). A literatura mostra que a macroporosidade tem correlação positiva com o índice S, portanto, solos com predominância de microporos tendem a fornecer baixos valores de índice S (DEXTER, 2004; SILVA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2013).

A predominância de valores de índice S inferiores a 0,035 sinalizou a necessidade da adoção de práticas sustentáveis de manejo do solo, em especial nas áreas que comportam usos que impactam o tamanho dos poros do solo, isto é, afetam a estrutura física, levando-o à compactação. Dexter (2004), Tormena et al. (2008) e Souza, Bonomo e Pires (2015) argumentam que solos com maior densidade global (mais compactados) geram índices S que os qualificam como de baixa qualidade física.

Naderi-Boldaji e Keller (2016) apontaram que o grau de compactação do solo tem alta correlação positiva com o índice S, e por isso, os autores sugerem que tais variáveis sejam permutáveis quanto ao diagnóstico de áreas de solos degradados.

O uso irracional do solo da bacia tem impacto direto na qualidade e disponibilidade de recursos hídricos, pois solos degradados apresentam baixas taxas de infiltração que levam ao aumento do escoamento superficial. Dessa maneira, os processos erosivos são acentuados por toda a bacia, e conseqüentemente, problemas ambientais como a perda de solos, carreamento de sedimentos, assoreamento das margens de rios e córregos, e a

alteração da turbidez da água levam a deterioração dos recursos hídricos da bacia do rio Urubu (MERTEN, MINELLA, 2002; ALVES et al., 2014)

Independente do uso e ocupação existente na área, todas as amostras apresentaram valores de índice S inferiores ao valor de referência proposto por Maia (2011), o qual propôs $S < 0,035$ como valor determinante para caracterizar o solo como fisicamente degradado. Dos 15 pontos analisados, 11 tiveram índices S inferiores ao valor limitante proposto por Andrade e Stone (2009). Segundo esses autores, os solos de cerrado que estão completamente degradados apresentaram valores de índice $S \leq 0,025$, e sob essas condições de degradação, o solo pode oferecer resistência à penetração de raízes, afetando diretamente a produtividade das áreas com agricultura temporária.

Observou-se ainda que as amostras coletadas em áreas cobertas por formações savânicas e florestais também obtiveram índices S que contradizem a expectativa concernente aos solos de regiões com pouca ou nenhuma intervenção humana recente. Os baixos valores do índice S e porosidade total, juntamente aos elevados valores de densidade global para essas áreas, podem estar vinculados às questões pedogenéticas (MARTINS, 2006), ou ainda ter sido influenciados por práticas inadequadas de manejo anteriores a um possível processo de regeneração da área. Para considerar a última opção, será necessário o estudo cronológico do uso e ocupação da área a fim de verificar de que forma aqueles solos foram manejados nos últimos anos.

Conclusão

A bacia do rio Urubu apresentou uma matriz de uso e ocupação bem diversificada, sendo que os usos diretamente relacionados com intervenções antrópicas corresponderam a 40% das terras da bacia. Apesar de expressiva atividade agropecuária, a área de estudo ainda tem 58% de suas terras cobertas por vegetação nativa (formações savânicas e florestais).

Observou-se que todas as áreas amostradas na bacia do rio Urubu, inclusive aquelas com cobertura vegetal nativa, obtiveram valores de índice S inferiores a 0,035, sendo um indicativo de baixa qualidade física dos solos. Dessa forma, o índice S mostrou-se eficaz no diagnóstico da qualidade física dos solos. Tal contexto demanda a adoção de práticas de manejo de solo mais sustentáveis, em especial quanto ao uso de maquinário pesado e ao excesso de irrigação.

Visto que as áreas que se encontraram com cobertura vegetal preservada também obtiveram baixos valores de índice S, recomenda-se a realização de estudos futuros

focados na relação entre o índice S, as propriedades físicas dos solos e o histórico de perturbações da bacia fornecido por uma análise multitemporal do uso e cobertura do solo. Considerando as dimensões da bacia e seus diferentes usos, recomenda-se a execução de estudos adicionais da qualidade física dos solos focados em usos e cobertura do solo específicos, pois ao focar em usos do solo mais impactantes como a agricultura, os resultados obtidos terão uma maior relevância/aplicabilidade na gestão dos recursos ambientais da bacia.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

Referências

ALVES, K. C. C. L. F. *Caracterização do regime pluvial e de conflitos de uso do solo em APP's da bacia hidrográfica do rio Formoso*, TO. 2014. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas. 2014.

ALVES, K. C. C. L. F. et al. Avaliação temporal dos conflitos de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Formoso, Tocantins. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 35, n. 83, p. 271-283, set. 2015. Disponível em: <<https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/820>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 382-388, ago. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662009000400003>. Acesso em 01 abr. 2019.

ARYA, L. M.; PARIS, J. F. A. physicoempirical model to predict soil moisture characteristics from particle-size distribution and bulk density data. *Journal Soil Science Society of America*, Madison, v. 45, p. 1023-1030, 1981. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/45/6/SS0450061023?access=0&iew=pdf>>. Acesso em 12 ago. 2019.

BRENNER, V. C.; GUASSELLI, L. A. Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS–Brasil. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 17, p. 3693-3699, 2015.

BISPO, M. O. O cerrado tocantinense: agronegócio e o Prodoeste. *Produção acadêmica*, Porto Nacional, v. 1, n. 1, p. 178, jun. 2015. Disponível em <<https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/producaoacademica/article/view/1937>>. Acesso em 1 mar. 2019.

COMBER, A. J. et al. Mapping coastal land use changes 1965-2014: methods for handling historical thematic data. *Transactions of the Institute of British Geographers*, [s. l.], v. 41,

p. 442–459, 2016. Disponível em: <<https://rgs-ibg.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/tran.12128>>. Acesso em: 5 abr. 2019.

COMBER, A. J.; WADSWORTH, R. A.; FISHER, P. F. Using semantics to clarify the conceptual confusion between *land cover* and *land use*: the example of ‘forest’. *Journal of Land Use Science*, v. 3, n. 2–3, p. 185–198, 2008. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17474230802434187>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

CRISTINE DE BRITTO, M.; DE CASTRO, C.; FERREIRA, M. Paisagem e as diferentes abordagens geográficas. *Revista de Geografia – PPGEO – UFJF*, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 1–10, 2011. Disponível em: <http://geoplan.net.br/material_didatico/Britto_Ferreira_Paisagem_e_diferentes_abordagens_2011.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2019.

DEXTER, A.R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, v. 120, n° 3–4, p. 201–214. Jun. 2004. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.004>.> Acesso em 03 de mar. 2019.

DUTRA, V. C. ; ADORNO, L. F. M. ; SENNA, M. L. G. S. . Analysis of the Key Indicators of Sustainable Tourism: A Case Study in Lagoa da Confusão, Brazil. *International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, v. 9, p. 2941–2950, 2015. Disponível em < <https://waset.org/publications/10002784/analysis-of-the-key-indicators-of-sustainable-tourism-a-case-study-in-lagoa-da-confus%C3%A3o-brazil>>. Acesso em 1 mar. 2019.

EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisas de solos, 2018. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>>. Acesso em 28 mar 2019.

FILHO, L. L. M. et al. Avaliação de características morfométricas da bacia hidrográfica do Rio Formoso - TO. *Revista de Ciências Ambientais*, Canoas, v. 7, n. 1, p. 37–48, 2013. Disponível em: <<https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/578>>. Acesso em: 7 abr. 2019.

FISHER, P.; WADSWORTH, R. Land use and Land cover: Contradiction or Complement. *Re-presenting GIS*, 2005. Disponível em:<https://www.academia.edu/14493546/Land_use_and_Land_cover_Contradiction_or_Complement?auto=download>. Acesso em: 22 fev. 2019.

FLEISCHMANN, Ayan Santos et al. Avaliação da seca de 2016 do Rio Javaés (bacia do Rio Araguaia) com uso de dados de múltiplos satélites. In: ANAIS DO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2017, *Anais eletrônicos...* Campinas, GALOÁ, 2018. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr/papers/avaliacao-da-seca-de-2016-do-rio-javaes--bacia-do-rio-araguaia--com-uso-de-dados-de-multiplos-satelites?lang=pt-br>> Acesso em: 11 abr. 2019.

GORAYEB, P. S. S. Geologia do Estado do Tocantins: Aspectos Gerais e Conhecimento Atual. In: MORAIS, F. (Organizador). *Contribuições a Geografia Física do Estado do Tocantins*. Goiânia: Kelps, 2011.

GORAYEB, P.S.S. *Evolução geológica da região Aragacema – Pequizeiro, Goiás-Brasil*.

1981. 111f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Pará, Belém, 1981. Disponível em: < <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/8700> >. Acesso em 14 jul 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Lagoa da Confusão – Panorama*. 2010a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/lagoa-da-confusao/panorama>>. Acesso em: 1 fev 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Cristalândia – Panorama*. 2010b. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/cristalandia/panorama> >. Acesso em: 1 fev 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Manual Técnico de Uso da Terra*. Rio de Janeiro, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Manual técnico de uso da terra*. Manuais Técnicos em Geociências, n. 7. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Produção Agrícola Municipal*, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em 07 de mai de 2019.

JANSEN, Louisa J. M.; GREGORIO, Antonio Di. Parametric land cover and land-use classifications as tools for environmental change detection. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, [s. l.], v. 91, n. 1–3, p. 89–100, 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880901002432>>. Acesso em: 7 abr. 2019.

MAIA, C. E. Índice S para avaliação da qualidade física de solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1959–1965, 2011. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n6/a12v35n6.pdf> >. Acesso em: 10 mar. 2019.

MARTINS, A. K. *Ipucas da Planície do Araguaia, Estado do Tocantins: Ambiente físico de ocorrência, solos e uso da terra*. 2004. 134f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

MARTINS, A. K. E. et al. Relações solo-geoambiente em áreas de ipucas na planície do médio Araguaia, Estado do Tocantins. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 297-310, 2006.

MARTINS, I. C. M. *Avaliação qualitativa de impactos ambientais decorrentes de agricultura irrigada em regiões de Ipucas no Estado do Tocantins*. 2005. 650 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MENEZES, J. P. C. Influência do uso e ocupação da terra na qualidade da água subterrânea e sua adequação para consumo humano e uso na agricultura. 2012. 83f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2012.

MORAIS, P. B.; JÚNIOR, S. N.; MARTINS, I. C. M. Cadernos de ciência & tecnologia. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 83–111, 2017. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/26297/13927>>. Acesso em: 26 fev. 2019.

MINELLA, J. P. G. et al. Dinâmica da erosão na escala de bacia hidrográfica: Uma

experiência de pesquisa no Estado do Rio Grande do Sul. In: TIECHER, T. (organizador). *Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no Sul do Brasil: contextualizando as atividades agropecuárias e os problemas erosivos*. Frederico Westphalen: URI. 2015. 152 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/287778646_Manejo_e_conservacao_do_solo_e_da_agua_em_pequenas_propriedades_rurais_no_sul_do_Brasil_contextualizando_as_atividades_agropecuarias_e_os_problemas_erosivos/link/5679383e08ae70e8e48163bc/download>. Acesso em 8 ago. 2019.

NADERI-BOLDAJI, M.; KELLER, T.. Degree of soil compactness is highly correlated with the soil physical quality index S. *Soil and Tillage Research*, [s. l.], v. 159, p. 41–46, 2016. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198716300101>>. Acesso em: 3 abr. 2019

NOAA. *What is the difference between land cover and land use?*. 2018. Disponível em: <<https://oceanservice.noaa.gov/facts/lclu.html>>. Acesso em 28 mar 2019.

OLIVEIRA, P. R. de et al. Qualidade estrutural de um latossolo vermelho submetido à compactação (1). *Brasileira de Ciências do Solo*, Viçosa, v. 37, p. 604–612, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/75281/2s2.084880746133.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

PEREIRA, G. C.; MORAIS, F. Geofísica aplicada ao estudo dos fluxos subsuperficiais no entorno da Lagoa da Confusão – TO. *Revista Geonorte*, Edição Especial, v. 2, n. 4, p.1475- 1483, 2012.

RANIERE, J. M. et al. *Aplicação do Modelo de Arya e Paris para Estimativa da Qualidade Física do Solo*. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009, 4 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Comunicado Técnico, 104).

SANTOS, A. B.; RABELO, R. R. *Informações técnicas para a cultura do arroz irrigado no Estado do Tocantins*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 136 p. (Documentos/ Embrapa Arroz e Feijão, 218). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/216530/informacoes-tecnicas-para-a-cultura-do-arroz-irrigado-no-estado-do-tocantins>>. Acesso em: 8 ago 2017.

SEPLAN - SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DO ESTADO DO TOCANTINS. *Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial*. 5 ed. Palmas: Seplan, 2008.

SEPLAN - SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E MEIO AMBIENTE, DIRETORIA DE ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO. *Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial*. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública - SEPLAN. Superintendência de Pesquisa e Zoneamento Ecológico-Econômico. Diretoria de Zoneamento Ecológico Econômico - ZEE. Organizado e atualizado por Paulo Augusto Barros de Sousa, Rodrigo Sabino Teixeira Borges e Ricardo Ribeiro Dias. 6. ed., Rev. Atu. Palmas, Seplan, 2012. 80 p.

SOUSA, E. S. *Caracterização hidroquímica e isotópica das águas superficiais e subterrâneas no entorno da Lagoa da Confusão, Tocantins, Brasil*. 2018. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas. 2018.

SOUZA, J. M. De; BONOMO, D. Z.; PIRES, F. R. ÍNDICE S EM SOLO SUBSOLADO DA REGIÃO DOS TABULEIROS COSTEIROS, ESPÍRITO SANTO. *MAGISTRA*, Cruz das Almas, v. 27, n. 1, p. 14–22, 2015. Disponível em: <<https://magistraonline.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/361>>. Acesso em: 31 mar. 2019.

SILVA, B. M. et al. Índices no diagnóstico da qualidade estrutural de latossolo muito argiloso sob manejo intensivo = S index in structural quality diagnostic of a very clayey oxisol under intense management. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 338–345, 2012. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13235>>. Acesso em: 2 abr. 2019.

TOCANTINS. Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. *Plano de bacia hidrográfica do rio Formoso – PBH Rio Formoso, no Estado do Tocantins*: relatório síntese. Palmas, TO: SRHMA, 2007. 70 p. Disponível em <<https://central3.to.gov.br/arquivo/269430/>>. Acesso em 15 mar. 2019.

TOPP, G. C. et al. Physical attributes of soil quality. *Developments in Soil Science*, [s. l.], v. 25, p. 21–58, 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166248197800293>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

TORMENA, C. A. et al. Quantification of the soil physical quality of a tropical oxisol using the S index. *Scientia Agricola*, Curitiba, v. 65, n. 1, p. 56–60, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162008000100008>. Acesso em: 31 mar. 2019.