

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN – RS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:
AGRICULTURA E AMBIENTE**

Lucas José Trombetta

**QUALIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO SOB MANEJO
IRRIGADO E DE SEQUEIRO**

Frederico Westphalen, RS.

2021

Lucas José Trombetta

QUALIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO SOB MANEJO IRRIGADO E DE SEQUEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Vanderlei Rodrigues da Silva

Frederico Westphalen, RS.
2021

TROMBETTA, LUCAS JOSÉ TROMBETTA
QUALIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO SOB MANEJO
IRRIGADO E DE SEQUEIRO / LUCAS JOSÉ TROMBETTA TROMBETTA.-
2021.
77 p.; 30 cm

Orientador: VANDERLEI RODRIGUES DA SILVA
Coorientador: GENESIO MARIO DA ROSA
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós
Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2021

1. Usos e Manejos do solo 2. Soil Management
Assessment Framework (SMAF) 3. Qualidade do Solo I.
RODRIGUES DA SILVA, VANDERLEI II. MARIO DA ROSA, GENESIO
III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

© 2021

Todos os direitos reservados a Lucas José Trombetta. A reprodução em partes ou de todo deste trabalho só poderá ser realizada mediante a citação da fonte.

Endereço: Linha Sete de Setembro, s/n - BR386, km 40. CEP: 98400-000. Frederico Westphalen, RS, Brasil.

Fone: (55) 9 96430602; Endereço eletrônico: lucasjosetrombetta1@gmail.com

Lucas José Trombetta

QUALIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO SOB MANEJO IRRIGADO E DE SEQUEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Vanderlei Rodrigues da Silva Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Renato Beppler Spohr Dr. (UFSM)

Ezequiel Koppe Dr. (UFSM)

Frederico Westphalen, RS.
2021

*Aos meus pais, José e Dania,
que sempre me apoiaram e
nunca mediram esforços para
tornar esse sonho realidade.*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por me proporcionar saúde durante essa jornada e proporcionar que tudo corresse da melhor maneira possível.

Agradecer meus pais José Trombetta e Dania Maria Lunardi Trombetta, meu irmão Lucio Heleno Trombetta, os quais sempre estiveram ao meu lado me dando carinho, amor, suporte e apoio em todo o processo, tanto nos momentos bons quanto nos ruins.

A Eduarda Pires Mafalda, pelo carinho, amor, incentivo, ajuda em dias de avaliações e compreensão pelas horas longe de casa dedicadas a este trabalho para que os compromissos fossem honrados.

Ao meu orientador, professor e amigo Vanderlei Rodrigues da Silva pelos ensinamentos, pela oportunidade, pela orientação neste trabalho, pela compreensão de não conseguir me fazer presente em tempo integral nos laboratórios e me apoiar em meu meio profissional.

Ao professor e amigo Rodrigo Ferreira da Silva pelos conhecimentos a mim passados, pelos puxões de orelhas merecidos e pela confiança e liberdade dada a mim para frequentar seus laboratórios a qualquer horário.

Ao professor e amigo Genesio Mario da Rosa, pelos ensinamentos a mim passados, pela contribuição ao desenvolvimento deste trabalho e pelo incentivo à pesquisa.

Aos membros da banca examinadora, Vanderlei Rodrigues da Silva, Renato Beppler Spohr, Ezequiel Koppe e Rodrigo Ferreira da Silva pela doação de seu precioso tempo e contribuições.

Meu muito obrigado aos meus amigos e colegas dos laboratórios de microbiologia e biologia do solo, gerenciamento ambiental e recursos hídricos e física do solo: Ricardo Turchetto, Gabriel Baraldi Volpi, Wagner Sarmento, Sinara Barros, Juliano B. Magalhães, Felipe Puff Dapper, Gerry Rieth, Pablo B. de Bem, Kétilla M. de Carvalho, Gabriela Barro, Daiane S. Andreola, Nádia Goergen, os quais muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos demais professores e funcionários da UFSM-FW.

A todos aqueles não citados, mas que contribuíram de uma forma ou outra e fizeram parte dessa conquista.

A TODOS, MUITO OBRIGADO!

“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino.” (Leonardo da Vinci)

RESUMO

QUALIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO SOB MANEJO IRRIGADO E DE SEQUEIRO

AUTOR: Lucas José Trombetta

ORIENTADOR: Vanderlei Rodrigues da Silva

O aumento populacional pressionou a oferta por alimentos, rações, fibras e combustíveis para suprir a necessidade de garantir a produção e a renda mesmo em condições climáticas de estresse hídrico, a irrigação possui grande relevância na expansão na agricultura nos últimos trinta anos, além disso, áreas de pastagens degradadas e novas áreas foram incorporadas em fronteiras agrícolas sobre áreas de vegetação nativa. Em consequência disso, ocorre uma elevada pressão sobre os recursos naturais especificamente o solo, assim, torna-se fundamental maiores estudos sobre as consequências que estas alterações acarretam nas propriedades físicas, químicas, biológicas e consequentemente na qualidade do solo. Perante isso, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar as alterações na qualidade do solo em seus diferentes usos e manejos e promover o uso e validar a metodologia SMAF para analisar estas alterações na qualidade do solo. Para atender este objetivo foram desenvolvidos três trabalhos científicos, onde o primeiro teve como objetivo avaliar a influência dos diferentes usos e manejos nas propriedades físicas do solo; o segundo avaliar a influência destas variáveis nas propriedades biológicas do solo; e no terceiro testar e validar a metodologia SMAF como uma ferramenta para avaliação nas alterações da qualidade do solo ocasionadas pelos diferentes usos e manejos do solo. A mudança de uso do solo de ambiente nativo para ambiente de cultivo acarreta degradações nas propriedades físicas do solo, no entanto, a técnica de irrigação, a curto e longo período de uso, ameniza os efeitos de aumento de densidade quando comparado ao cultivo sequeiro. Para as propriedades biológicas, a mudança no solo de ambiente nativo para cultivo também acarreta degradação destas propriedades, no entanto, quando a técnica de irrigação é utilizada há pelo menos 25 anos, a mesma acarreta uma melhoria destas propriedades, principalmente no atributo Carbono da biomassa microbiana (BMS-C) e respiração basal do solo (RBS), onde para BMS-C, tendo o ambiente nativo como base, ocorreu um acréscimo de 21,27% na área irrigada em relação ao plantio sequeiro. A metodologia SMAF se mostrou uma ferramenta eficaz na avaliação da qualidade do solo, demonstrando que os ambientes não operam em sua máxima capacidade, no entanto, o plantio irrigado em ambas as áreas foi superior ao plantio sequeiro e ao ambiente nativo no índice geral de qualidade do solo, mostrando-se assim uma alternativa para amenizar as degradações na qualidade do solo em ambientes de cultivo.

Palavras-chave: Usos e manejos do solo. Metodologia SMAF. Qualidade do solo.

ABSTRACT

SOIL QUALITY IN NO TILLAGE SYSTEM UNDER IRRIGATED AND NO IRRIGATED

AUTHOR: Lucas José Trombetta
ADVIOROR: Vanderlei Rodrigues da Silva

The use of irrigation in agriculture has increased in the last thirty years. The increases occurred due to population increase that pressured the supply of food, feed, fiber, and fuel, to guarantee production in weather conditions of water stress. As a result of it, there is high pressure on soils degradation and natural resources, therefore, it is essential to further studies to evaluate changes in physical, chemical, and biological properties, and consequently, in the soil quality. Therefore, the general objective of this study was to evaluate changes in soil quality in different uses and management and promote the use and validate the SMAF methodology to analyze soil quality. To meet this objective, three scientific studies were developed. The first one aimed to evaluate the influence of different soil uses and management on its physical properties; the second one aimed to evaluate the influence of soil use and management on the biological properties of the soil, and the third one testing and validating the SMAF methodology as a framework for measurement changes in soil quality caused by different soil uses and managements. The change of land use from the native environment to the cultivation environment causes degradation in the physical properties of the soil, however, the irrigation technique, in the short and long period of its use, mitigates the effects of increased density when compared to rainfed cultivation. In the biological properties, the land use change from a native environment to cultivation also causes degradation, however, when the irrigation technique is used for at least 25 years, it leads to an improvement in these properties, especially in the Carbon attribute of the biomass microbial (BMS-C) and basal soil respiration (RBS). There was an increase of 21.27% in the irrigated area in relation to the dryland planting. The SMAF methodology proved to be an effective framework in the assessment of soil quality, demonstrating that the environments do not operate at their maximum capacity. However, irrigated planting in both areas was higher than dry planting and native environment in the general quality index of the soil. Therefore, the irrigated planting proved to be an alternative to alleviate degradations in soil quality in cultivation environments.

Key-words: Soil uses and management. SMAF Methodology. Soil quality.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1 - Valores de porosidade total (Pt), microporosidade (Micro) e Macroporosidade (Macro), influenciadas pelos usos do solo nas camadas 0,00 – 0,05; 0,05 – 0,10 m, na área de Seberi (irrigação há 10 anos)28

Tabela 2 - Valores de porosidade total (Pt), microporosidade (Micro) e Macroporosidade (Macro), influenciadas pelos usos do solo nas camadas 0,00 – 0,05; 0,05 – 0,10 m, na área de Santo Augusto (irrigação há 25 anos)29

ARTIGO 3

Tabela 1 - Teores médios dos atributos químicos das amostras de solo agrupadas por uso do solo na camada de 0,00 – 0,10 m, para área de Seberi (irrigação há 10 anos) e área de Santo Augusto (irrigação há 25 anos)57

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura 1 - Densidade do solo (D_s) na camada de 0 – 5 cm nos diferentes usos do solo, Mata Nativa (MN), Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (Figura A) e Santo Augusto (Figura B) e na camada de 5 – 10 cm área de Seberi (Figura C) e Santo Augusto (Figura D).....26

Figura 2 - Densidade relativa (D_r) na camada de 0 – 5 cm nos diferentes usos do solo, Mata Nativa (MN), Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (Figura A) e Santo Augusto (Figura B) e na camada de 5 – 10 cm área de Seberi (Figura C) e Santo Augusto (Figura D).....31

ARTIGO 2

Figura 1 - Carbono da Biomassa Microbiana (BMS-C) nos diferentes usos do solo, Mata Nativa (MN), Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (A) e Santo Augusto (B).....43

Figura 2 - Evolução do CO_2 (C- CO_2) nos diferentes usos do solo, Mata Nativa (MN), Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (A) e Santo Augusto (B).....45

Figura 3 - Respiração Basal do Solo (RBS) nos diferentes usos do solo, Mata Nativa (MN), Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (A) e Santo Augusto (B).....46

Figura 4 - Quociente Metabólico do Solo (qCO_2) nos diferentes usos do solo, Mata Nativa (MN), Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (A) e Santo Augusto (B).....47

ARTIGO 3

Figura 1 - Contribuição ponderada das propriedades químicas do solo nos diferentes usos do solo, Mata Nativa (MN), Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (A) e Santo Augusto (B).....59

Figura 2 - Contribuição ponderada das propriedades físicas do solo nos diferentes usos do solo, Mata Nativa (MN), Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (A) e Santo Augusto (B).....60

Figura 3 - Contribuição ponderada das propriedades biológicas do solo nos diferentes usos do solo, Mata Nativa (MN), Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (A) e Santo Augusto (B).....62

Figura 4 - Índice Geral de Qualidade do Solo nos diferentes usos do solo, Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (A) e Santo Augusto (B).....63

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1- EVOLUÇÕES NO USO DO SOLO	14
2.2- IRRIGAÇÃO NA AGRICULTURA	15
2.3- PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	16
2.4- PROPRIEDADES BIOLÓGICAS DO SOLO	17
2.5- PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO.....	18
2.6- METODOLOGIA SMAF NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO ...	19
3- ARTIGO 1: DIFERENTES USOS E MANEJOS DO SOLO E SUAS INFLUÊNCIAS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS.....	22
3.1- RESUMO.....	Erro! Indicador não definido.
3.2- ABSTRACT.....	Erro! Indicador não definido.
3.3- INTRODUÇÃO	23
3.4- MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.5- RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
3.6- CONCLUSÕES.....	33
3.7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
4- ARTIGO 2: DIFERENTES USOS E MANEJO DO SOLO E SUAS INFLUÊNCIAS NAS PROPRIEDADES BIOLÓGICAS	38
4.1- RESUMO.....	Erro! Indicador não definido.
4.2- ABSTRACT.....	Erro! Indicador não definido.
4.3- INTRODUÇÃO	39
4.4- MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
4.5- RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.6- CONCLUSÕES.....	48
4.7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
5- ARTIGO 3: SOIL MANAGEMENT ASSESSMENT FRAMEWORK (SMAF) COMO ESTRATÉGIA NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES USOS E MANEJOS	53
5.1- RESUMO.....	Erro! Indicador não definido.
5.2- ABSTRACT.....	Erro! Indicador não definido.
5.3- INTRODUÇÃO	54
5.4- MATERIAIS E MÉTODOS.....	56

5.5- RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
5.6- CONCLUSÕES.....	65
5.7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
6- CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS	73

1- INTRODUÇÃO GERAL

O solo é fundamental para o desenvolvimento de plantas e culturas de interesse agrícola, o qual possui a função de servir como fonte e reserva de nutrientes e água, além de servir como alicerce para o crescimento e desenvolvimento das plantas (BRADY & WEIL, 2013). O ponto de vista mais analisado por produtores e outros integrantes do agronegócio é a produtividade das culturas, pensando nisso o foco real deve estar ligado na manutenção e melhoria do solo pois é a base para que as plantas possam manter e/ou aumentar essa produtividade (BÜNEMANN et al., 2018).

Segundo a FAO (2001), a agricultura tem em seu princípio a mudança de um determinado ecossistema nativo para uma condição adequada ao crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas, sendo que nesta mudança, os recursos naturais, principalmente o solo, são modificados.

A forma de uso do solo é alterada à medida que a evolução tecnológica na agricultura avança, isso na expectativa de aumentar a produtividade e minimizar os impactos ao meio ambiente, principalmente ao solo. A preservação do solo é essencial, fundamental para que o homem consiga praticar a agricultura, pois esse é o meio que provê ou armazena os nutrientes necessários para o bom desenvolvimento das plantas. As mudanças no uso do solo como a utilização do plantio direto, é a mais significativa nos últimos anos, especialmente quando trata-se de solos localizados em climas tropicais. A adoção desse sistema minimiza os processos erosivos e o esgotamento da matéria orgânica do solo (RUHOFF et al., 2014).

Bünemann et al. (2018) enfatizam que a manutenção da qualidade do solo é primordial para evitar a degradação do solo, principalmente quando ocorre mudança no uso do solo de vegetação nativa para cultivo agrícola. Vezzani & Mielniczuk (2009), para quantificar a qualidade do solo, em função do seu uso e manejo, os pesquisadores buscam metodologias que possam analisar certos atributos do solo e inferir scores para os mesmos. Após analisar esses scores são formados índices capazes de discernir modificações nas propriedades do solo oriundas do uso e manejo que esse solo recebe. Dentre as diversas metodologias que são utilizados para buscar um índice de qualidade do solo, o *Soil Management Assessment Framework* (SMAF), criado por Andrews et al.

(2004) tem se destacado. Essa metodologia engloba a avaliação de propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos e transformadas em scores, deste modo, ajudando na tomada de decisões para com a conservação ou melhoria de um solo (CHERUBIN et al., 2017).

Portanto, perante relatos apresentados, o presente trabalho teve por objetivo: (i) avaliar as alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo em seus diferentes usos; (ii) determinar os efeitos da técnica de irrigação, nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo; (iii) promover o uso e validar a metodologia Soil Management Assessment Framework – SMAF para analisar as alterações no uso do solo na qualidade do solo.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1- EVOLUÇÕES NO USO DO SOLO

A agricultura era baseada no revolvimento do solo para realização dos cultivos, porém essa técnica trazia diversos problemas ao solo, principalmente relacionados a processos erosivos e com isso então iniciou-se a busca por técnicas que amenizassem esses problemas. Uma técnica que revolvesse menos o solo e com isso retardasse a degradação do mesmo teve início na década de 50, iniciando na Europa, Estados Unidos e Canadá liderado por ingleses e norte-americanos. No entanto, este sistema não se mostrou eficiente na visão dos agricultores e pesquisadores, pois na época não haviam herbicidas e com isso tornava-se difícil o controle de plantas invasoras. Posteriormente com a chegada dos herbicidas, principalmente os pós emergentes, conseguiu-se realizar o controle de plantas invasoras e com isso este sistema se mostrou promissor (BLEVINS e FRYE, 1993). No Brasil essa técnica teve início nos anos 60 através de trabalhos desenvolvidos em grupos de pesquisas pelas universidades. Posteriormente na década de 70 iniciou-se a utilização do sistema em lavouras comerciais, sendo os Estados do Paraná e Rio Grande do Sul os pioneiros a utilizarem o sistema de plantio direto (SPD) no Brasil (MOTTER & ALMEIDA, 2015).

A permanente cobertura do solo, com o mínimo revolvimento do solo e a rotação de culturas, são as premissas do sistema de plantio direto, a maior evolução ocorrida na

agricultura brasileira após a revolução verde. A utilização deste sistema garante ao produtor uma maior agregação do solo, maior ciclagem de nutrientes, e principalmente, protege o solo de processos erosivos, uma das principais causa de degradação dos solos agrícolas (TIECHER et al., 2014). Conforme os produtores brasileiros foram aderindo ao SPD é possível observar uma melhoria nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo quando comparado ao sistema de plantio convencional (FAVARATO et al., 2016).

2.2- IRRIGAÇÃO NA AGRICULTURA

Mesmo com as evoluções positivas do SPD, que propiciam um acréscimo na produtividade das culturas, há diversas pesquisas que mostram quando o SPD é mal manejado pode ocorrer decréscimo na produtividade. Este decréscimo está ligado ao estado de compactação do solo, devido ao tráfego de máquinas associado ao mínimo revolvimento reduz o crescimento radicular das plantas, reduzindo a profundidade e a área explorada pelas raízes, repercutindo em menor volume de água disponível as plantas, onde a produtividade das culturas está intimamente ligada a disponibilidade hídrica no decorrer de seu ciclo (FAROOQ et al., 2011 , RUSINAMHODZI et al., 2011).

Com o crescimento populacional mundial de forma exponencial, segundo a FAO (2008), há necessidade de aumentar a produção de alimentos em 50% até o ano de 2025, sendo que cerca de 80% dessa será produzida em áreas irrigadas, técnica que vem para auxiliar no aumento e garantia da produção agrícola. Neste sentido, a utilização eficiente da água na agricultura torna-se um dos desafios agrícolas de grande relevância nos últimos tempos para que as plantas possam expressar todo seu potencial genético aliado as tecnologias aplicadas na lavoura, pois, conforme dito por De Figueiredo et al. (2005) para que se tenha uma boa produção na área agrícola a água é um dos fatores primordiais para que as necessidades fisiológicas das plantas sejam atendidas. A irrigação pode ser definida como um fornecimento de água, quantidade exata no momento certo, para as plantas de forma artificial que tem por objetivo fornecer a umidade essencial a fim de evitar o estresse hídrico nas plantas que acarreta sérios déficits de produtividades nas culturas (HAILE & ASFAW, 2015).

Segundo Souza et al. (2012), demonstram que no estado do Pará o crescimento da área irrigada entre os anos de 1996 a 2006 foi de 611%, passando de 4.797 para 29.333

hectares irrigados. Na bacia do rio Paranaíba, formador do rio Paraná nos estados de Goiás, Minas Gerais, Distrito Federal e Mato Grosso do Sul levantamentos identificaram 608.000 hectares irrigados em 2010, área essa que é o dobro da irrigada em 2006. ANA & Embrapa (2016) apresentaram uma expansão de 43,3% (mais de 382.000 hectares) da área irrigada de pivôs centrais no Brasil entre os anos de 2006 a 2014 e para o ano de 2021, segundo ANA (2021), o Brasil conta com 8,2 milhões de hectares equipados com irrigação e até o ano de 2040 deverá expandir sua área irrigada em mais 4,2 milhões de hectares. Mesmo com toda essa frente de irrigação no país, a mesma é considerada pequena, isso devido a área agrícola total do país, à extensão territorial, os fatores físicos-climáticos favoráveis para a agricultura e a grande disponibilidade hídrica que o Brasil possui, o oposto do que os líderes da irrigação enfrentam, pois já estão utilizando praticamente a totalidade do seu potencial estimado para áreas irrigadas.

2.3- PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

As propriedades físicas de um solo podem ser mensuradas sem exigir grandes complexidades na estrutura de um laboratório de física do solo. As propriedades de capacidade do solo como por exemplo, textura do solo, densidade do solo, microporosidade, macroporosidade e porosidade total são variáveis muito utilizadas para mensurar e determinar o estado de compactação do solo (GIAROLA et al., 2002).

A prática da agricultura acarreta por si própria mudanças nos atributos físicos do solo quando comparados a ambientes nativos. Dependendo do manejo do solo, a intensidade do tráfego de máquinas e a redução nos teores de matéria orgânica, desencadeiam vários problemas relacionados as propriedades físicas do solo (BEUTLER et al., 2006; SECCO et al., 2004; SILVA & CABEDA, 2006). Esses fatores podem acarretar a redução do espaço poroso, entre os agregados, além de causar a ruptura dos mesmos, diminuindo a macroporosidade do solo aumentando assim a densidade do solo. Esse adensamento prejudica o desenvolvimento das plantas, conseqüentemente, resulta em redução na produção e geração de alimentos (AZEVEDO et al., 2007; SOUZA & ALVES, 2003; KLEIN & LIBARDI, 2002; DALAL & CHAN, 2001).

Conceitua-se estrutura do solo o agrupamento e organização das partículas do solo em agregados e a distribuição da mesma em um determinado volume de solo, esta por sua vez, não conceitualmente é um fator diretamente relacionado com o crescimento das plantas. A estrutura do solo está indiretamente ligada a todas as propriedades físicas do

solo, portanto, para que se possua no solo uma boa aeração, suprimento de água, atividades microbianas, disponibilidade de nutrientes e penetração de raízes, torna-se indispensável uma boa estruturação do solo para obter-se altos índices produtivos para as culturas (REINERT & REICHERT, 2006). Com base nestes conceitos e pesquisas, evoluções de usos do solo e sistemas de manejos que possibilitam a organização estrutural do sistema solo-planta tornam-se fundamentais para garantir o bom funcionamento do sistema como um todo.

2.4- PROPRIEDADES BIOLÓGICAS DO SOLO

As propriedades biológicas do solo são os indicadores mais sensíveis às mudanças no uso do solo, sendo influenciadas pelo tipo de plantas de cobertura do solo, épocas de amostragem e manejo do solo. A manutenção ou incremento de organismos no solo é condicionada por fatores químicos (acidez, nutrientes, entre outros) e físicos (temperatura e umidade) SILVA et al., 2007; MATSUOKA, 2006; BRADY & WEIL, 2013).

Para a avaliação da qualidade do solo é de suma importância avaliar a atividade dos microrganismos, já que os mesmos interferem nos processos ecológicos do solo, pois a atividade bioquímica e metabólica desses microrganismos ajuda na decomposição de restos vegetais e ciclagem de nutrientes (DE ARAÚJO & MONTEIRO, 2007).

Uma das propriedades biológicas do solo que é amplamente utilizada para se avaliar a qualidade do solo é o Carbono da biomassa microbiana (BMS-C), a qual controla processos como a decomposição e acúmulo de matéria orgânica além de regular a ciclagem de nutrientes no solo (ROSCOE et al., 2006). Essa propriedade biológica, é muito sensível e de rápida modificação com alterações de outras propriedades do solo (físicas e químicas), tornando-se assim um importante atributo quando se busca supervisionar a qualidade do solo em função de seu uso. Pois deste modo, é possível detectar alterações e distúrbios nas comunidades microbianas do solo e assim empregar medidas para amenizar os danos e evitar perdas de matéria orgânica, essencial para fertilidade de solos brasileiros (REIS JUNIOR & MENDES, 2007; ROSCOE et al., 2006).

O potencial metabólico da comunidade microbiana do solo é expresso pelo carbono da biomassa microbiana sendo está a forma viva da matéria orgânica que representa cerca de 2 a 5 % do carbono orgânico em solos tropicais. Essa propriedade

biológica do solo é correlacionada com quantidade de argila presente no solo, normalmente quanto maior a quantidade de argila no solo, maior será o carbono da biomassa microbiana (DA SILVA, 2008). Pois, a argila ajuda na adsorção de compostos orgânicos, deste modo, acrescentando a quantidade de substratos para o metabolismo dos microrganismos (DALAL, 1998).

Outra propriedade biológica do solo é o quociente metabólico (qCO_2), que expressa a atividade metabólica da biomassa microbiana, importante para avaliar e entender se o ambiente em questão, encontra-se favorável ou enfrentando algum distúrbio, e assim estar perdendo carbono para a atmosfera (SILVA et al., 2010; REIS JUNIOR & MENDES, 2007). Para a determinação do qCO_2 , além do carbono da biomassa é necessário a determinação da respiração basal do solo (RBS), já que o qCO_2 é a razão entre a RBS e o BMS-C, resultando assim, o quanto de CO_2 a biomassa microbiana libera em função do tempo em que é submetida. A RBS possui uma grande correlação com a umidade, temperatura e aeração do solo (ALVES et al., 2011; SILVA et al., 2007).

Altos valores de qCO_2 indicam que os microrganismos estão gastando mais energia para manutenção da comunidade microbiana, ou seja, estão consumindo o carbono de suas células para sua manutenção, gastando energia armazenada e perdendo mais carbono para a atmosfera, refletindo assim a incapacidade energética da biomassa microbiana (REIS JUNIOR & MENDES, 2007; WARDLE & GHANI, 2018).

2.5- PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

Uma das formas de se avaliar a relação entre os diferentes usos e manejos do solo e inferir valores sobre sua qualidade, é através das propriedades químicas do solo. Essas propriedades químicas estão geralmente interligadas entre si, por exemplo, o excesso de um nutriente pode inibir a absorção de outro, pode causar toxidez à planta, podendo diminuir ou inibir a absorção de nutrientes, afetando assim o crescimento, desenvolvimento e produção das culturas (EBELING et al., 2008).

As propriedades químicas do solo são fortemente afetadas e alteradas conforme o uso do solo, através da adubação e calagem realizadas em áreas de cultivo, práticas estas inexistentes em áreas com vegetação nativa. Quando é introduzida a agricultura em um solo anteriormente utilizado como pastagem ou mata nativa, o tributo mais alterado nesta

questão é o pH do solo, onde o mesmo é elevado rapidamente com a calagem da área, deste modo, afetando assim a disponibilidade de demais nutrientes, sejam eles benéficos ou maléficos como é o caso do Alumínio (MILINDRO et al., 2016).

Quando trata-se da qualidade química de um solo, o armazenamento e disponibilidade de nutrientes para as plantas são fatores fortemente aliados à produtividade do solo. As características preponderantes nos solos que podem resumir sua qualidade química, entre outras, são o pH, o alumínio trocável, a CTC, saturação por bases e indicadores de conteúdos de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e P, sendo que estes juntos, servem para analisar e indicar a quantidade de nutrientes a ser adicionada ao solo, além de indicar possíveis contaminações e poluições existentes no solo (CARDOSO et al., 2011).

A modificação do solo pela ação humana decorrente da utilização de adubos nitrogenados, adubos químicos e orgânicos e a alta exportação de cátions básicos oriunda dos cultivos agrícolas, tornam o solo mais ácido, assim, necessitando a utilização de corretivos para manter um solo dentro dos padrões agricultáveis, pois a acidez do solo é um dos fatores limitantes que baliza o teto produtivo das culturas agrícolas em solos tropicais e subtropicais (BARRETO et al., 2006; BISSANI et al., 2008; CHERUBIN et al., 2016; CORASSA et al., 2018)

Segundo Bissani et al. (2008), a quantificação dos nutrientes presentes no solo, é o princípio para quantificar a necessidade de adubação, calagem e seleção de cultivares. Levando em consideração o que é descrito por Spagnollo (2004), onde o autor afirma que o tipo de uso do solo influencia as propriedades químicas do mesmo, principalmente quando parte-se de vegetação nativa para cultivos agrícolas, pois sistemas de cultivo, mesmo com o mínimo de revolvimento de solo, diminuem a quantidade de Carbono orgânico do solo quando comparados com vegetações nativas, reduzindo assim a ciclagem de nutrientes no solo.

2.6- METODOLOGIA SMAF NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO

O tema Qualidade do Solo (QS) começou a ser debatido com grande ênfase depois da publicação do livro *Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture* pela *Academy of Sciences* em 1993 (NATIONAL RESSERCH CONUNCIL, 1993), onde foram apresentados conceitos e discussões sobre o assunto. Neste livro é elucidado que a qualidade do solo deve ser determinada com a união das três propriedades do solo, sendo

elas as físicas, químicas e biológicas. Esta por sua vez, foi estabelecida como sendo “a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens” (KARLEN et al., 1997).

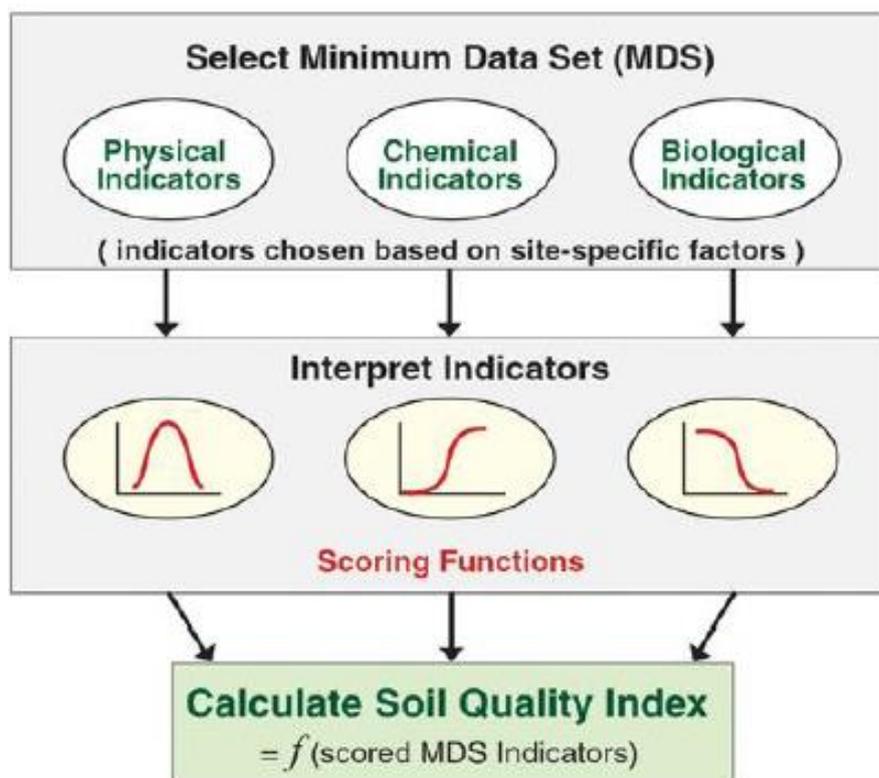
A avaliação da qualidade do solo através da metodologia SMAF é fundamentada em três fases (Figura 1). Na primeira fase, são eleitos quais atributos integrarão o conjunto básico de dados, englobando propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, correspondendo um mínimo de quatro dos 13 possíveis indicadores existentes no software, e dentre esses deve haver no mínimo um de cada propriedade do solo (ANDREWS et al., 2004).

Dentre os indicadores físicos utilizados estão a densidade do solo, água disponível, estabilidade macroagregada e a curva de retenção de água. Os indicadores biológicos mais utilizados pelo SMAF são o nitrogênio potencialmente mineralizável, carbono orgânico total, carbono da biomassa microbiana e a atividade da β -glucosidase, e para os indicadores químicos são utilizados a condutividade elétrica, os teores de fósforo, potássio e sódio, além do pH do solo (ANDREWS et al., 2004; CHERUBIN et al., 2016).

Na segunda fase da utilização do SMAF, são geradas curvas de pontuações onde as mesmas são interpretadas e atribuídos valores, chamados de *scores*, os quais vão variar de 0 a 1, esses obtidos através de algoritmos. Essas relações são divididas em três, sendo elas: “Ponto Ótimo”, para analisar o pH e o teor de fósforo; “Maior Melhor”, para analisar a estabilidade macroagregado, água disponível, atividade da β -glucosidase, carbono da biomassa, teor de potássio, nitrogênio potencialmente mineralizável e carbono orgânico total; e por fim “Menor Melhor” que analisa a densidade do solo, condutividade elétrica, teor de sódio e curva de retenção de água (ANDREWS et al., 2004).

Na última fase de análise, é feita a união dos indicadores em somente um índice de qualidade do solo. Para uma melhor compreensão, informações sobre caracterização do solo, histórico de culturas e clima, apresenta com mais exatidão os efeitos de manejo sobre o uso do solo (ANDREWS et al., 2004; CHERUBIN et al., 2016).

Figura 1. Fases e estruturação do software SMAF para desenvolvimento do índice de qualidade do solo. Adaptado de Soil Quality, 2011.



No Brasil, o método de avaliação da qualidade do solo através do método SMAF, foi introduzido por Cherubin et al. (2016), em experimentos realizados na região centro-sul do país, em regiões de expansão da cana-de-açúcar. Os resultados obtidos com esse método foram promissores, possibilitando o uso dessa ferramenta pelos agricultores, gestores de terras e políticos para avaliarem a qualidade do solo e a empregarem melhores práticas sustentáveis de uso da terra.

3- ARTIGO 1: DIFERENTES USOS E MANEJOS DO SOLO E SUAS INFLUÊNCIAS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS

3.1- RESUMO

A irrigação teve grande expansão na agricultura nos últimos trinta anos, isso devido ao aumento populacional que pressionou a oferta por alimentos e a necessidade de garantir a produção e a renda mesmo em condições climáticas de estresse hídrico, isso juntamente com a expansão das fronteiras agrícolas sobre áreas de vegetação nativa, deste modo, torna-se fundamental maiores estudos sobre as consequências que estas alterações acarretam ao solo. O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar as propriedades físicas em diferentes usos do solo sob plantio direto, em curto e longo tempo de utilização da irrigação. O estudo foi realizado em duas áreas contemplando os seguintes tratamentos: mata nativa (MN), plantio sequeiro (S) e plantio irrigado (I). As amostras de solo foram coletadas com anel cilíndrico, em uma toposequencia de 9 pontos amostrais em duas profundidades 0 a 5 e 5 a 10 cm, totalizando 54 pontos amostrais para cada tratamento. A análise estatística foi realizada pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). As variáveis analisadas em laboratório foram: densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade relativa do solo (Dr). A variável Ds apresentou relação positiva com o uso da irrigação em ambas as áreas. As variáveis Ma, Mi, Pt e Dr apresentaram diferença significativa apenas para o tratamento mata nativa em ambas as áreas. Nas duas áreas os valores de Ds ficaram abaixo do limite crítico, o qual é estabelecido como $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$.

Palavras chave: Usos do solo. Densidade. Degradação.

ARTICLE 1: DIFFERENT USE AND SOIL MANAGEMENT AND THE INFLUENCES ON PHYSICAL PROPERTIES

3.2- ABSTRACT

The irrigation practice has greatly expanded in agriculture in the last thirty years due to the population increase. The population increases pressured the supply of food and the need to guarantee production and income even in weather conditions of water stress. In addition, it resulted in the expansion of agricultural frontiers on areas previously occupied by native vegetation. Thus, it is essential to further studies on the consequences that these changes cause on the soil. The objective of this study was to evaluate the physical properties in different land uses under no-tillage, in short and long periods of irrigation use. The study was carried out in two areas contemplating the following treatments: native forest (MN), rainfed planting (S), and irrigated planting (I). Soil samples were collected with a cylindrical ring, in a sequence of 9 sampling points at two depths 0 to 5 and 5 to 10 cm, totaling 54 sampling points for each treatment. The variables analyzed in the laboratory were: soil bulk density (Ds), macroporosity (Ma), microporosity (Mi), total porosity (Pt) and, relative soil bulk density (Dr). Statistical analysis was performed using the Scott-Knott test ($p < 0.05$). The variable Ds showed a positive relationship with the use of irrigation in both areas. The Ma, Mi, Pt and Dr

variables showed significant differences only for the native forest treatment in both areas. In both areas, the D_s values were below the critical limit, which is established as 1.4 Mg m^{-3} .

Keywords: Land uses. Soil bulk density. Degradation.

3.3- INTRODUÇÃO

A irrigação é a técnica que consiste em fornecer água artificialmente para as plantas em quantidade ideal e no momento certo. Esse sistema de manejo é muito antigo, tendo indício de sua utilização em civilizações antigas da Suméria há cerca de 4.000 a.C. Mesmo sendo uma técnica conhecida há muitos anos, esse sistema teve grande expansão na agricultura brasileira somente nos últimos trinta anos, isso devido a necessidade de garantir a produção e a renda mesmo em condições climáticas de estresse hídrico. No entanto, ainda restam dúvidas em relação ao impacto que o uso mais intensivo do solo com o sistema de irrigação acarreta na qualidade do solo (MAZOYER & ROUDART, 2010; FURQUIM & DE OLIVEIRA, 2019).

O manejo adequado do solo é fundamental para a preservação do potencial produtivo de uma determinada região, sendo este, um fator vital para a produção agrícola e fundamental para todos os serviços ecossistêmicos no ambiente terrestre. O cuidado com o solo está em destaque em agendas sócio-políticas ao redor do mundo e necessita-se maiores informações do efeito do uso intensivo do solo sob irrigação no recurso solo (LAL & STEWART, 2013; LEPSCH, 2016). A preocupação com a conservação do solo na Europa, resultou em estratégia temática da União Europeia para uma melhor proteção do solo, sendo instituídas uma série de práticas com intuito de proteção e uso sustentável do solo, prevenindo assim maiores degradações do mesmo (BALLABIO et al., 2016).

Para aumentar a produção, tem-se expandido as fronteiras agrícolas sobre áreas de vegetação nativa e realizadas mudanças em técnicas de manejo, deste modo, torna-se fundamental maiores estudos sobre as consequências que estas alterações acarretam ao solo (CARNEIRO FILHO & COSTA, 2016). O solo é o fator primordial para que se consiga produzir em larga escala com o intuito de suprir a demanda de alimentos no mundo, sendo que esta, cada ano se torna maior devido ao grande crescimento da

população mundial e novos hábitos alimentares (SEPLAN, 2004; FRANÇA & GOMES, 2014).

A agricultura gera alterações nos ecossistemas. Essas mudanças de uso do solo, ocasionam alterações nas propriedades do solo, sejam elas, químicas, biológicas e/ou físicas (ROZANE et al., 2010; VIANA et al., 2011; ROSSETTI & CENTURION, 2015b).

Em trabalhos que analisaram alterações na densidade do solo demonstram que solos que utilizam o manejo com Sistema de Plantio Direto (SPD) aumentaram o estado de compactação do solo em curtos períodos de tempo após a implantação do sistema (RIBEIRO et al., 2016; SALES et al., 2016; FAGUNDES et al., 2019). No entanto, a utilização do SPD por longo período de tempo melhora a agregação do solo, através da formação de poros biológicos, com isso diminuindo a densidade e melhorando a continuidade e estabilidade dos poros do solo, deste modo, o monitoramento da qualidade do solo torna-se indispensável, isso devido as perturbações sucedidas no solo oriunda das diferentes formas de uso do solo (HAZARIKA et al., 2009; BÜNEMANN et al., 2018).

A hipótese de que a mudança de uso do solo de um sistema com vegetação nativa para culturas anuais ocasionará um aumento da densidade e redução da macroporosidade do solo, quando comparadas com a mata nativa. No entanto, em áreas irrigadas com pivô central há uma melhoria nos atributos físicos do solo, principalmente a densidade do solo quando comparado ao plantio sequeiro. O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar as propriedades físicas do solo em diferentes usos do solo, ambiente nativo e cultivado, sendo o cultivado sob sistema plantio direto irrigado, curto e longo tempo de utilização da irrigação e ambiente sequeiro.

3.4- MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste estudo foram coletadas amostras de solo em dois locais no estado do Rio Grande do Sul com solos de características semelhantes. Os locais selecionados foram: (1) Lavoura comercial localizada no município de Seberi-RS, cujas coordenadas geográficas são 27° 36'S e 53° 24'O com 520 metros de altitude com solo argiloso oriundo da formação Serra Geral, substrato basalto. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com textura argilosa (EMBRAPA 2016), 662g kg⁻¹ de argila, 258 g kg⁻¹ de silte e 80 g kg⁻¹ de areia. (2) Lavoura comercial localizada no município de Santo Augusto-RS, cujas coordenadas geográficas são 27° 51'

35.6" S e 53° 45' 28.3" O com 509 metros de altitude, com solo argiloso oriundo da formação Serra Geral, substrato basalto. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com textura argilosa (EMBRAPA, 2016), 643 g kg⁻¹ de argila, 238 g kg⁻¹ de silte e 119 g kg⁻¹ de areia. Em ambos os locais de coleta os agricultores realizam a rotação de cultura com a sequência: Soja, posteriormente nabo, posteriormente milho, posteriormente soja, posteriormente trigo, sendo que para a área de Seberi a cultura antecessora as coletas era milho e para área de Santo Augusto a cultura antecessora era trigo. Em ambas as áreas foram avaliados os usos do solo com agricultura e mata nativa. No uso agrícola, foi comparado o sistema plantio direto irrigado e não irrigado. A área de Seberi a irrigação é utilizada há 10 anos e na área de Santo Augusto, é utilizada há 25 anos.

As amostras de solo foram coletadas em fevereiro de 2020 (Seberi) e novembro de 2020 (Santo Augusto), sendo que as amostras do mesmo local foram coletadas no mesmo dia sobre as mesmas condições. Para cada local de uso do solo a amostragem foi composta por 9 pontos amostrais distanciados 50 m entre si, deste modo, constituindo 54 pontos amostrais para cada tratamento, totalizando 162 amostras em cada local de coleta. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0,0-0,05; e 0,05-0,10 m. Para as análises de densidade, microporosidade, macroporosidade e porosidade total, foram coletadas amostras com estrutura preservada em anéis volumétricos com 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro, totalizando um volume de 98 cm³. Após a coleta das amostras as mesmas foram conduzidas para o laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, *campus* Frederico Westphalen (UFSM-FW), onde as amostras permaneceram sob refrigeração (5° C), para inibir a atividade biológica que poderiam modificar sua estrutura (germinação de sementes e atividade de insetos e minhocas) até sua preparação para análise.

Para a análise das amostras foram retirados os excedentes de solo dos cilindros e efetuada a limpeza externa dos mesmos, em seguida as mesmas foram saturadas com água em bandejas por via da manutenção de uma lâmina de água contemplando dois terços da altura dos cilindros metálicos por 72 horas, até os mesmos atingirem a saturação. Posteriormente saturadas as amostras, foram equilibradas a um potencial matricial de -6 kPa em mesa de tensão (TEIXEIRA et al., 2017).

Após atingirem o equilíbrio no potencial matricial (aproximadamente 48 horas após), aferiu-se o peso das amostras, em seguida foram levadas para a estufa com a temperatura de 105 °C durante 24 horas, posteriormente a secagem aferiu-se novamente o peso das amostras secas. Seguindo a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017), posterior a obtenção dos pesos das amostras e descontado o peso dos anéis metálicos, obteve-se a Densidade de Solo (D_s), Macroporosidade (Ma) e Microporosidade (Mi). Onde para calcular a Porosidade Total (PT) utilizou-se a densidade de partículas dos tratamentos.

A densidade relativa (DR) é a relação entre a densidade do solo atual dividido pela densidade máxima ou densidade de referência (Eq. 1). A densidade máxima ($DS\ máx$) foi obtida no trabalho de Dapper (2020), no qual amostras de solo foram submetidas a pressão uniaxial sequencias de até 1600 kPa consolidômetro de compressão uniaxial.

$$DR = \left(\frac{D_s}{D_s\ máx} \right)$$

Onde: DR : Densidade relativa do solo; D_s : Densidade do solo ($Mg\ m^{-3}$); $D_s\ máx$: Densidade máxima de referência ($Mg\ m^{-3}$).

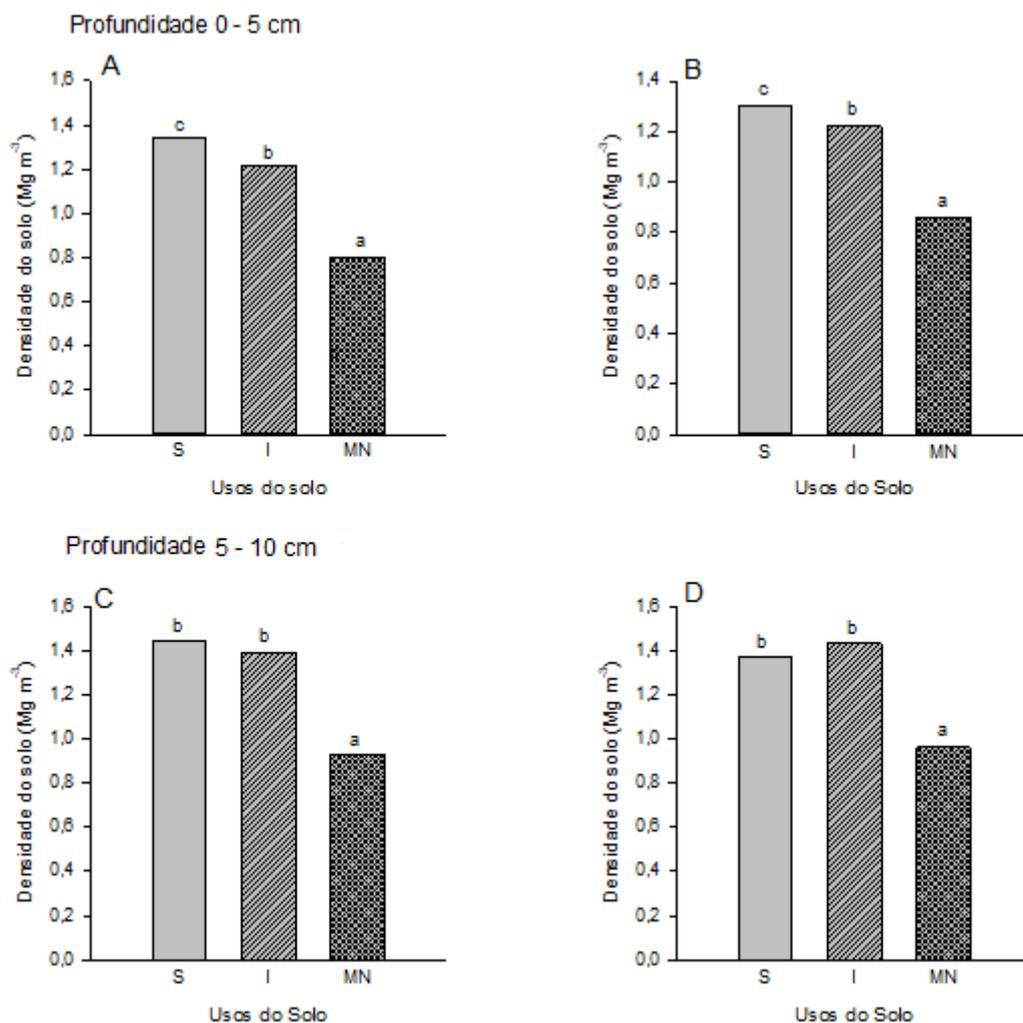
Os dados foram submetidos a análise de variância (Anova) para avaliar a influência dos usos do solo nas variáveis analisadas. Quando significativos, os resultados foram comparados usando o teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Para efeitos deste estudo cada local foi analisado separadamente, visto as diferenças de histórico entre as áreas. As análises foram realizadas através do software SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2014).

3.5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a área de Seberi, a densidade do solo na camada de 0,00 – 0,05 m , o menor valor foi na Mata Nativa ($0,80\ Mg.m^{-3}$), seguida pelo plantio direto Irrigado ($1,22\ Mg.m^{-3}$) e o manejo com maior média de densidade foi no plantio direto sequeiro ($1,34\ Mg.m^{-3}$) conforme Figura 1 A. Na área de Santo Augusto o solo com Mata Nativa apresentou menor densidade do solo ($0,86\ Mg.m^{-3}$), seguida pelo plantio direto Irrigado ($1,22\ Mg.m^{-3}$) e o solo com maior densidade nessa camada foi no plantio direto sequeiro ($1,30\ Mg.m^{-3}$), (Figura 1 B).

Figura 1. Densidade do solo (D_s) na camada de 0,00 – 0,05 m nos diferentes usos do solo, Mata Nativa (MN), Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (Figura A) e Santo

Augusto (Figura B) e na camada de 5 – 10 cm área de Seberi (Figura C) e Santo Augusto (Figura D).



Na primeira camada do solo, a mata nativa se sobressai dos tratamentos agrícolas, resultado este que corrobora com o encontrado por Koppe (2014), onde trata que o sistema de plantio direto apresenta maior estado de compactação comparado com vegetação nativa em um Latossolo Vermelho distrófico. Menores valores de densidade do solo em mata nativa também foram encontrados por Braida et al. (2006), onde os autores afirmam que isso é decorrente de uma maior quantidade de folhas, raízes e material orgânico em decomposição, o que dificulta a compressão do solo, dissipando a energia imposta no mesmo, resultado esse que corrobora com os encontrados por Matias et al. (2009) e Fontenele et al. (2009), onde os mesmos também encontraram valores menores de densidade do solo na mata nativa quando comparados a outros sistemas de cultivos agrícolas.

A diminuição da densidade do solo no tratamento irrigado quando comparado com o de sequeiro é em virtude do decréscimo de umidade do solo que promove a aproximação das partículas do solo e o aumento da coesão, deste modo, ocorre o aumento da densidade do solo (HORN & SMUCKER, 2005). Resultado esse que vai de encontro com o encontrado por Gubiani et al. (2015), onde os autores também encontraram um aumento da densidade em solos que não eram umedecidos regularmente.

Também descrito por Gubiani (2015), o autor afirma que essa descompactação natural, causado pela expansão e contração do solo (argila) em Latossolos Vermelhos oriunda do conteúdo de água no solo, ocorre devido as forças matriciais, associadas à curvatura dos meniscos de água nas interfaces sólido-líquido-ar propiciarem alterações significativas no volume do solo, ocorrendo repetitivamente, como é o caso da irrigação, constitui-se um mecanismo eficiente de descompactação natural de Latossolos Vermelhos, contudo, essa descompactação natural é mais eficaz nas camadas superficiais do solo, como é o caso das duas áreas (0 – 5 cm), onde prevalecem as maiores variações do conteúdo de água no solo ao decorrer do tempo.

Quando comparamos os valores de densidade entre as áreas, na camada de 0,05 – 0,10 m, houve diferença no valor encontrado para Mata Nativa, mas sem diferença entre sistemas de uso agrícola, plantio Irrigado e plantio Sequeiro, tanto para área de Seberi (Figura 1 C) quanto para área de Santo Augusto (Figura 1 D). Resultado este que corrobora com o encontrado por Reichert et al. (2009), onde os autores afirmam que em solos argilosos onde pratica-se o sistema de plantio direto ocorre uma maior compactação, nas camadas de 7 – 20 cm de profundidade. Salienta-se ainda que os valores de densidade dessa camada de solo das áreas cultivadas estão acima do limite crítico para solos argilosos de $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$ (Arshad et al., 1996) ou bem próximo desses valores.

Nas variáveis macroporosidade, microporosidade e porosidade total (Tabelas 1 e 2), em ambas as áreas e ambas profundidades, somente a mata nativa se diferiu estatisticamente dos demais tratamentos demonstrando que as propriedades físicas do solo quando o mesmo é transformado em ambiente agrícola, há alterações prejudiciais ao mesmo.

Tabela 1. Valores de porosidade total (Pt), microporosidade (Micro) e Macroporosidade (Macro), influenciadas pelos usos do solo nas camadas 0,00 – 0,05; 0,05 – 0,10 m, na área de Seberi (irrigação há 10 anos).

	Pt	Micro	Macro
Uso do solo	----- $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ -----		
	----- -0,00 a 0,05 (m) -----		
Mata nativa	0,71 a	0,50 a	0,20 a
Irrigado	0,54 b	0,45 b	0,09 b
Sequeiro	0,51 b	0,43 b	0,08 b
CV (%)	5,09	11,44	20,54
	----- -0,05 a 0,10 (m) -----		
Mata Nativa	0,66 a	0,54 a	0,12 a
Irrigado	0,48 b	0,43 b	0,05 b
Sequeiro	0,48 b	0,44 b	0,04 b
CV (%)	4,59	9,12	30,27

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Tabela 2. Valores de porosidade total (Pt), microporosidade (Micro) e Macroporosidade (Macro), influenciadas pelos usos do solo nas camadas 0,00 – 0,05; 0,05 – 0,10 m, na área de Santo Augusto (irrigação há 25 anos).

	Pt	Micro	Macro
Uso do solo	----- $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ -----		
	----- -0,00 a 0,05 (m) -----		
Mata nativa	0,65 a	0,63 a	0,15 a
Irrigado	0,51 b	0,50 b	0,01 b
Sequeiro	0,54 b	0,51 b	0,03 b
CV (%)	6,72	7,75	32,04
	----- -0,05 a 0,10 (m) -----		
Mata Nativa	0,61 a	0,60 a	0,09 a
Irrigado	0,45 b	0,44 b	0,01 b
Sequeiro	0,49 b	0,48 b	0,01 b
CV (%)	9,32	6,40	28,49

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

A redução na macroporosidade nos solos cultivados em comparação a mata nativa, foram similares aos encontrados por Silva & Ribeiro (1992), Freitas (2011) e Freitas et al. (2017), onde os autores também verificaram a drástica redução na macroporosidade dos solos cultivados, onde esse resultado é decorrente do tráfego de máquinas agrícolas.

A desestruturação dos solos e conseqüentemente redução da macroporosidade em solos irrigados ocorre devido ao umedecimento do mesmo e subsequente tráfego de máquinas ocasionando a compactação do solo com efeitos deletérios na densidade do solo e na macroporosidade. Pelos resultados expressos nas tabelas acima, na área de Santo Augusto onde a utilização da irrigação é de longo período de tempo a macroporosidade está abaixo do limite crítico, o qual é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (TORMENA et al., 2004). Resultado que corrobora com o encontrado por Michelon et al. (2007) onde os autores avaliaram a qualidade física de solos do Rio Grande do Sul (RS) que utilizam o sistema de irrigação e concluíram que em termos de macroporosidade, na camada superficial, dos 86 pivôs amostrados, cerca de 6.627,7 hectares, 66,5% das áreas os solos apresentam porosidade abaixo de $0,074 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, situação considerada crítica e restritiva ao crescimento e desenvolvimento de plantas.

A porosidade total, também se comportou similarmente à macroporosidade, somente a mata nativa se diferiu dos demais tratamentos em ambas as áreas e profundidades, comportando-se inversamente proporcional a densidade do solo. Resultado esse que corrobora com os encontrados por Luciano et al. (2010) e Martinkoski et al. (2017). Maiores valores de porosidade total são encontrados em áreas de mata nativa, resultado de um sistema radicular agressivo e bem desenvolvido, que após sua morte e decomposição originam bioporos, além de em áreas nativas há maior diversidade biológica do que em ambientes agrícolas que contribui para o aumento da macroporosidade e porosidade total (SALES et al., 2016).

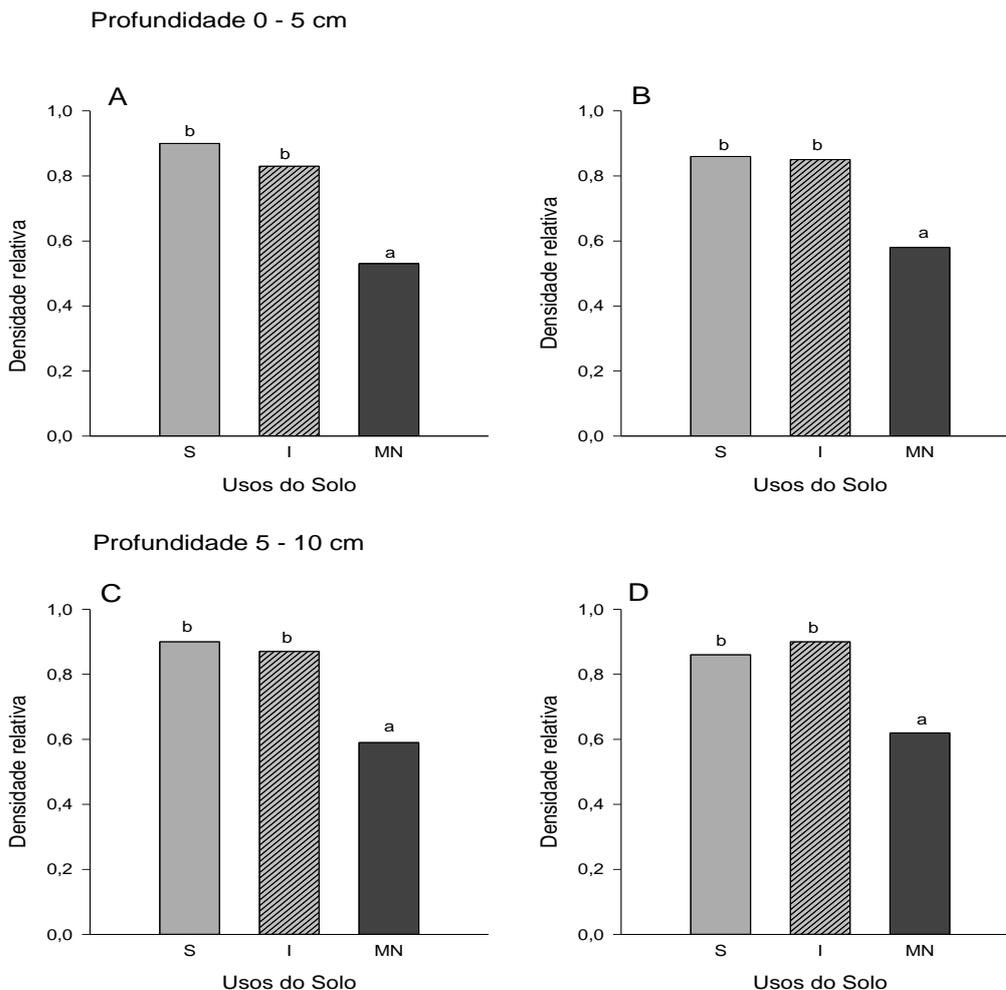
Em ambas as áreas nos tratamentos irrigado e sequeiro na camada de 5 – 10 cm, camada na qual está localizado o maior percentual de raízes das culturas agrônômicas, a porosidade total está abaixo do nível crítico para solos argilosos, pois para se ter uma produção agrícola satisfatória o solo deve apresentar uma porosidade total de $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para que ocorra um crescimento radicular adequado (BAVER et al., 1972; KIEHL, 1979; ANDRADE & STONE, 2009; SALES et al., 2018).

Para a variável microporosidade, o resultado foi similar ao da macroporosidade e porosidade total, onde a mata nativa se diferenciou estatisticamente dos demais tratamentos em ambas as profundidades, pois a mata nativa apresenta uma maior quantidade de matéria orgânica, conferindo a ela uma menor densidade do solo e conseqüentemente melhor estruturação do mesmo. Resultado esse que corrobora com o encontrado por Sales et al. (2018), onde os autores verificaram diferenças na microporosidade somente no tratamento de mata nativa, não se diferenciando entre usos agrícolas do solo. Resultado similar ao encontrado por Freitas et al. (2017), onde os autores avaliando área de reflorestamento e área cultivada com cana de açúcar, não encontraram diferença em relação a microporosidade, pois a mesma é fortemente interligada com a textura do solo, teor de matéria orgânica e muito pouco influenciada pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas (SILVA & KAY, 1997; ARAÚJO et al., 2004).

A variável densidade relativa do solo (D_r) é definida como a razão entre a densidade do solo em condições de campo e a densidade máxima do solo (LUCIANO et al., 2012). Esta variável vem sendo utilizada para descrever o estado de compactação do solo, já que esta é menos influenciada por alguns atributos, como tipos de minerais, granulometria e teor de matéria orgânica do solo (KLEIN, 2006; NOVAK et al., 2017).

A D_r em Seberi (Figura 2 A) na camada de 0 – 5 cm, para o plantio sequeiro foi de 0,90, plantio irrigado 0,83 e mata nativa 0,53 e em Santo Augusto (Figura 2 B) foi de 0,86 para plantio sequeiro, 0,85 para plantio irrigado e 0,58 para mata nativa, em ambas as áreas somente a mata nativa se diferenciou dos demais usos do solo. Quando analisada a camada de 5 – 10 cm para área de Seberi (Figura 2 C), a D_r para o plantio sequeiro foi de 0,90, para o plantio irrigado foi de 0,87 e para mata nativa foi de 0,59, já para Santo Augusto (Figura 2 D), plantio sequeiro foi de 0,86, 0,90 para plantio irrigado e 0,62 para mata nativa.

Figura 2. Densidade relativa (D_r) na camada de 0 – 5 cm nos diferentes usos do solo, Mata Nativa (MN), Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (Figura A) e Santo Augusto (Figura B) e na camada de 5 – 10 cm área de Seberi (Figura C) e Santo Augusto (Figura D).



Em ambas as áreas e ambas profundidades os usos dos solos cultivados obtiveram um valor de D_r que variou de 0,83 a 0,90, deste modo, ficaram dentro do limite considerado ótimo para o desenvolvimento das culturas agrônômicas para um Latossolo Vermelho (SUZUKI et al., 2007; REICHERT et al., 2009). Resultados estes que contrariam os encontrados por Novak et al. (2017), onde os autores avaliaram a D_r em solos com mata nativa e em áreas de recuperação com espécies florestais e não encontraram diferenças entre os tratamentos.

Já Munareto et al. (2010) e Viana et al. (2011), encontraram diferenças entre os usos do solo, na mata nativa obtiveram valores 0,67 e 0,66 para mata nativa, e 0,84 e 0,82 para uso do solo cultivado com a cana de açúcar, respectivamente. Esta diferença em solos de ambientes nativos está ligada a maior quantidade de carbono orgânico, onde o mesmo proporciona maior resistência a compressão e menor resistência a penetração por

garantir uma maior agregação e maior resistência aos efeitos da degradação (RAUBER et al., 2012; MAZURANA et al., 2017).

Em estudo realizado por Rossetti & Centurion (2015 a), para o uso do solo agrícola com plantio direto (SPD), sendo os tratamentos, mata nativa e sistema de plantio direto com seis, oito e dez anos de implantação, apenas a mata nativa diferiu dos demais tratamentos com uma Dr de 0,76. Para uso do solo com SPD com seis, oito e dez anos de implantação os resultados de Dr obtidos foram 0,94, 0,94 e 0,93, respectivamente, deste modo, demonstrando que a Dr em solos agrícolas sem revolvimento se comporta de maneira semelhante. Confirmando estes valores, Bonetti et al. (2018) e Dapper (2020), obtiveram valores de densidade relativa muito semelhantes, tanto em plantio direto consolidado há 20 anos, como em solos revolvidos, pois o solo tende a se adensar novamente em curto período de tempo.

3.6- CONCLUSÕES

A densidade do solo foi fortemente alterada pelos diferentes usos do solo, ficando desta forma ordenada: Mata Nativa < Cultivo Irrigado < Cultivo Sequeiro.

A mudança do uso do solo de vegetação nativa para culturas anuais diminui a porosidade do solo.

A microporosidade se diferiu-se apenas no tratamento Mata Nativa.

A densidade relativa se diferiu apenas para o tratamento mata nativa, em ambas as áreas e ambas profundidades, demonstrando que a mesma não é afetada por variações de manejos agrícolas, e sim pelo uso do solo.

3.7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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**, v. 13, n. 4, p. 382-388, 2009.

ARAÚJO, E. A.; LANI, J. L.; AMARAL, E. F.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 307-315, 2004.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, R. Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran JW, Jones AJ, editors. *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America. p.1-43, 1996.

- BALLABIO, C.; PANAGOS, P.; MONATANARELLA, L. Mapping topsoil physical properties at European scale using the LUCAS database. **Geoderma**, v. 261, p. 110-123, 2016.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. Soil physics. 4. ed. **New York: John Wiley and Sons**, 1972. 529 p.
- BONETTI, J. A.; PAULINO, H. B.; DE SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; CAETANO, J. O. Soil physical and biological properties in an integrated crop-livestock system in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 11, p. 1239-1247, 2018.
- BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **R. Bras. Ci. Solo**, 30:605-614, 2006.
- BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DEYN, G. D.; DE GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MÄDER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKEL, W.; GROENIGEN, J. W.; BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105-125, 2018.
- CARNEIRO FILHO, A.; COSTA, K. **A expansão da soja no Cerrado. Caminhos para a ocupação territorial, uso do solo e produção sustentável**. São Paulo, Agroicone, p.1-30, 2016.
- CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 56-63, 2012.
- DAPPER, F. P. **Atributos físicos e mecânicos de um Latossolo submetido a diferentes tempos de escarificação em sistema plantio direto**. 2020. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen. Frederico Westphalen/RS, 2020.
- DA SILVA, F. F.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ARATANI, R. G.; ANDRIOLI, F. F.; ANDRIOLI ITAMAR. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho cultivado no sistema plantio direto. **Irriga**, v. 13, n. 2, p. 191-204, 2008.
- DE FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; DESUÓ, I. C. Atributos físicos e químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar próximo a fragmento nativo. **Holos Environment**, v. 11, n. 2, p. 137-146, 2011.
- FAGUNDES, M. O.; REIS, D. A.; PORTELLA, R. B.; PERINA, F. J.; BOGIANI, J. C. Qualidade de um latossolo sob plantio convencional e sistema plantio direto no cerrado baiano, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 3, p. 281-297, 2019.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.
- FONTENELE, W.; SALVIANO, A. A. C.; MOUSINHO, F. E. P. Atributos físicos de um Latossolo Amarelo sob sistemas de manejo no cerrado piauiense. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 40, n.2, p. 194-202, 2009.

FRANÇA, M. S.; GOMES, É. S. Índícios de ilha de calor urbana em Sorriso/MT. **Revista Monografias Ambientais**, 14, 3366-3376, 2014.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; DESUÓ, I. C. Atributos químicos e físicos de solo cultivado com cana-de-açúcar próximo a fragmento florestal nativo. **Holos Environment**, v. 11, n. 2, p. 137-147, 2011.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2, 2017.

FURQUIM, M. G. D.; DE OLIVEIRA, A. K. Sustentabilidade e expansão da agricultura irrigada: um olhar para o setor no estado de Goiás. **Natural Resources**, v. 9, n. 1, p. 47-56, 2019.

GUBIANI, P. I.; LIER, Q. J. V.; DRESCHER, M. S.; MEZZOMO, H. C.; VEIGA, C. M. C. 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**, v. 39, n. 1, p. 100-108, 2015.

GUBIANI, P. I. **Regularidade de resposta da cultura do milho à compactação do solo** [tese]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2012

GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A. Improvements in the visual evaluation of soil structure. **Soil Use and Management**, v. 27, n. 3, p. 395-403, 2011.

HAZARIKA, S.; PARKINSON, R.; BOL, R.; DIXON, L.; RUSSELL, P.; DONOVAN, S.; ALLEN, D. Effect of tillage system and straw management on organic matter dynamics. **Agronomy for sustainable development**, v. 29, n. 4, p. 525-533, 2009.

HORN, R.; SMUCKER, A. Structure formation and its consequences for gas and water transport in unsaturated arable and forest soils. **Soil Till Res.** 82:5-14, 2005.

KIEHL, E. J. Manual de edafologia. 1. ed. **São Paulo: Agronômica Ceres**, 1979. 262p.

KLEIN, V. A. Densidade relativa-um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 5, n. 1, p. 26-32, 2006.

KOPPE, E. **Atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo**. 2014. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen. Frederico Westphalen/RS, 2014.

LAL, R.; STEWART, B. A. Principles of sustainable soil management in agroecosystems. CRC Press, 2013.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos. Oficina de textos**, 2016.

LUCIANO, R. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; DA COSTA, A.; BATISTELLA, B.; WARMLING, M. T. Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1733-1744, 2012.

LUCIANO, R. V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; KURTZ, C.; FAYD, J. A. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparado a mata

natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. 9(1): 9-19, 2010.

MARTINKOSKI, L.; VOGEL, G. F.; JADOSKI, S. O.; WATZLAWICK, L. F. Qualidade física do solo sob manejo silvipastoril e floresta secundária. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

MATIAS, S. S. R.; BORBA, J. A.; TICELLI, M.; PANOSSO, A. R.; CAMARA, F. T. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 40, n.3, p. 331-338, 2009.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea. São Paulo: EDUNESP, 2010.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; ZULPO, L.; PASSOS, G. M.; KERPEN, H. S. Dynamic of pressure-deformation curve in uniaxial compression test in different load times. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 5, p. 973-986, 2017.

MICHELON, C. J.; CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; DE DAVID, G.; DALLA SANTA, C. Qualidade física de solos irrigados do Estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, v. 37, n. 5, p. 1308-1315, 2007.

MUNARETO, J. D.; BEUTLER, A. N.; RAMÃO, C. J.; DIAS, N. P.; RAMOS, P. V.; POZZEBON, B. C.; ALBERTO, C. M.; HERNANDES, G. C. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado por inundação no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p. 1499-1506, 2010.

NOVAK, E.; DE CARVALHO, L. A.; DOS SANTOS, L. L.; HERNANDO, I. D.; PANACHUKI, E. Densidade do solo e densidade relativa de um latossolo vermelho submetido a diferentes usos. **Agrotropica**, v. 29, n. 1, p. 31-38, 2017.

RAUBER, L. P.; PICCOLLA, C. D.; ANDRADE, A. P.; FRIEDERICHS, A.; MAFRA, Á. L.; CORRÊA, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A. Physical properties and organic carbon content of a Rhodic Kandiodox fertilized with pig slurry and poultry litter. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1323-1332, 2012.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 310-319, 2009.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; CORNO, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.

RIBEIRO, L. S.; DE OLIVEIRA, I. R.; DANTAS, J. S.; DA SILVA, C. V.; DA SILVA BRITO, G.; DE AZEVEDO, J. R. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo coeso sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1699-1702, 2016.

ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Ensaio de compactação em Latossolo cultivado com milho sob diferentes períodos de adoção de tipos de manejo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 4, p. 499-505, 2015. a

ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo em cronosequência sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 252-8, 2015. b

ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C. A. K.; TRABUCO, M.; ALVES, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, v. 26, p. 24-32, 2010.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal. **In: Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215. p. 01-15, 2018.

SALES, R. P.; PORTUGAL, A. F.; MOREIRA, J. A. A.; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 429-438, 2016.

SEPLAN. Secretaria De Estado De Planejamento E Coordenação Geral. **Anuário Estatístico de Mato Grosso – 2003**. Vol. 25. Cuiabá: SEPLAN – MT Central de Texto, 2004.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society America Journal**, v. 61, n. 03, p. 877-883, 1997.

SILVA, M. S. L.; RIBEIRO, M. R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiro no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, n. 3, p. 397-402, 1992.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; DE LIMA, C. L. R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1159-1167, 2007.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA GERALDES, W. Manual de métodos de análise de solo. **Rio de Janeiro, Embrapa**. 573p, 2017.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1023-1031, 2004.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2105-14, 2011.

4- ARTIGO 2: DIFERENTES USOS E MANEJO DO SOLO E SUAS INFLUÊNCIAS NAS PROPRIEDADES BIOLÓGICAS

4.1- RESUMO

As propriedades biológicas e bioquímicas do solo são atributos fundamentais no monitoramento das alterações do solo consequentes de seu uso, agrícola ou nativo. Essas propriedades estão relacionadas com a qualidade do solo e são importantes para orientar o planejamento e avaliar as práticas utilizadas no manejo do solo, onde estas são influenciadas também por outros fatores presentes no solo como, conteúdo de água, temperatura, estrutura do mesmo, entre outros. O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar a influência dos diferentes usos e manejos do solo sobre as propriedades biológicas de dois Latossolos Vermelhos, em curto e longo tempo de utilização da irrigação. O estudo foi realizado em duas áreas contemplando os seguintes tratamentos: mata nativa (MN), plantio sequeiro (S) e plantio irrigado (I). As amostras de solo foram coletadas com anel cilíndrico, em 9 pontos amostrais na profundidade de 0 a 10 cm, com três replicatas totalizando 27 pontos amostrais para cada tratamento. A análise estatística foi realizada pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). As variáveis analisadas em laboratório foram: carbono da biomassa microbiana (BMS-C), evolução do CO_2 (ECO_2), respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico do solo ($q\text{CO}_2$). A variável BMS-C apresentou relação positiva com o tempo de utilização da irrigação, se sobressaindo do tratamento sequeiro na área de Santo Augusto. A ECO_2 também sofreu influência da irrigação, demonstrando que a mesma propicia condições mais favoráveis para os microrganismos. Em ambas as áreas quando comparado a RBS juntamente com o $q\text{CO}_2$, nota-se que o tratamento irrigado quando introduzido a pouco tempo gera uma condição de estresse ao meio, no entanto a logo período de tempo propicia melhores condições aos microrganismos, se sobressaindo do tratamento sequeiro. Portanto, a irrigação acarreta uma melhoria na qualidade biológica do solo quando utilizada a longo período de tempo.

Palavras chave: Irrigação. Usos do solo. Melhoria na qualidade do solo.

ARTICLE 2: DIFFERENT USE AND MANAGEMENT OF THE SOIL AND THEIR INFLUENCES ON THE BIOLOGICAL PROPERTIES

4.2- ABSTRACT

The biological and biochemical properties of the soil are fundamental attributes in monitoring soil changes resulting from its use, agricultural or native. These properties are related to soil quality and are important to guide the planning and evaluate the practices used in soil management, where they are also influenced by other factors present in the soil such as water content, temperature, soil structure, among others. The objective of this study was to evaluate the influence of different land uses and management on the biological properties of two Oxisols, in short and long periods of irrigation use. The study was carried out in two areas contemplating the following treatments: native forest (MN), rainfed planting (S), and irrigated planting (I). Soil samples were collected in a sequence of 9 sampling points at a depth from 0 to 10 cm, totaling 27 sampling points for each

treatment. The variables analyzed in the laboratory were: microbial biomass carbon (BMS-C), CO₂ evolution (ECO₂), basal soil respiration (RBS), and soil metabolic quotient (q CO₂). Statistical analysis was performed using the Scott-Knott test ($p < 0.05$). The variable BMS-C showed a positive relationship with the time of use of irrigation, standing out from the dry treatment in area of Santo Augusto. ECO₂ was also influenced by irrigation, demonstrating that it provides more favorable conditions for microorganisms. It was noted that the irrigated treatment when introduced in a short time generates a stress condition in the environment related to RBS and qCO₂ in both areas. However, the short time provides better conditions for microorganisms, standing out from the treatment dryland. Therefore, irrigation leads to an improvement in the biological quality of the soil when used for a long time period.

Keywords: Irrigation. Land uses. Improvement in soil quality.

4.3- INTRODUÇÃO

A irrigação consiste no fornecimento artificial de água ao solo, em uma área específica e no momento certo da demanda das culturas em questão. Para aumentar a produção de alimentos e suprir a necessidade da população mundial as fronteiras agrícolas estão expandindo sobre áreas nativas. Esse avanço sobre áreas nativas aliado ao manejo inadequado e não planejado dos recursos naturais, como o solo, veem acarretando a degradação de extensas áreas agrícolas já em utilização (CHAVES et al., 2012; SILVA et al., 2019). Deste modo, é necessário realizar mudanças do uso do solo, afim de minimizar os efeitos causados pela ação antrópica e alcançar a sustentabilidade do sistema produtivo (FONSECA et al., 2007).

Neste contexto, para que não seja necessário cada vez mais mudanças de uso do solo de ambientes de vegetações nativas em ambientes de cultivo, o cuidado com a qualidade do solo e a mensuração de suas alterações em seus atributos, causadas pela da intensificação do uso e manejo, é essencial para manutenção da produtividade dos solos e conservação dos recursos naturais (SILVA e al., 2010). Deste modo, as propriedades biológicas e bioquímicas do solo são atributos que podem ser utilizados no monitoramento das alterações do solo consequentes do uso agrícola. Essas propriedades estão relacionadas com a qualidade do solo e são importantes para orientar o planejamento e avaliar as práticas utilizadas no manejo do solo (OLIVEIRA et al., 2015). Sendo que estas são influenciadas também por outros fatores presentes no solo como, conteúdo de

água, temperatura, estrutura do mesmo, presença de resíduos orgânicos e disponibilidade de nutrientes (SILVA et al., 2010; BRADY & WEIL, 2013).

Para a avaliação da qualidade do solo a partir das propriedades biológicas, podemos utilizar a biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico. Com essas avaliações é possível identificar qual uso ou manejo do solo propicia um maior acúmulo de matéria orgânica e maior ciclagem de nutrientes, ou mesmo esteja causando algum estresse ao meio (FIDELIS et al., 2016; DA SILVA et al., 2020).

Conforme citado a cima, as propriedades biológicas são influenciadas pelo conteúdo de água no solo, deste modo, a hipótese de que o sistema de irrigação em longo período de tempo agrega um melhor desempenho dos atributos biológicos do solo, como, aumento da biomassa microbiana, aumento da respiração basal do solo e um baixo nível de quociente metabólico, o que resulta em baixo estresse imposto ao meio. Perante isso, o objetivo deste trabalho consistiu em avaliar a influência dos diferentes usos e manejos do solo sobre as propriedades biológicas de dois Latossolos Vermelhos.

4.4- MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste estudo foram coletadas amostras de solo em dois locais no estado do Rio Grande do Sul com o mesmo tipo de solo. Os locais selecionados foram: (1) Lavoura comercial localizada no município de Seberi-RS, cujas coordenadas geográficas são 27° 36'S e 53° 24'O com 520 metros de altitude com solo argiloso oriundo da formação Serra Geral, substrato basalto. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com textura argilosa (EMBRAPA 2016), 662g kg⁻¹ de argila, 258 g kg⁻¹ de silte e 80 g kg⁻¹ de areia. (2) Lavoura comercial localizada no município de Santo Augusto-RS, cujas coordenadas geográficas são 27° 51' 35.6" S e 53° 45' 28.3" O com 509 metros de altitude, com solo argiloso oriundo da formação Serra Geral, substrato basalto. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com textura argilosa (EMBRAPA, 2016), 643 g kg⁻¹ de argila, 238 g kg⁻¹ de silte e 119 g kg⁻¹ de areia. Em ambas as áreas foram avaliados os usos do solo com agricultura e mata nativa, sendo que no uso do solo agrícola foi avaliado o sistema de plantio direto sequeiro e plantio direto irrigado. O sistema de irrigação foi implantado a 10 anos na área de Seberi e há 25 anos na área de Santo Augusto.

As amostras de solo foram coletadas em fevereiro de 2020 (Seberi) e novembro de 2020 (Santo Augusto), sendo que as amostras do mesmo local foram coletadas no mesmo dia sobre as mesmas condições. Para cada local de uso do solo foram coletadas amostras de 9 pontos amostrais distanciados 50 m entre si, deste modo, com três replicatas constituindo 27 pontos amostrais para cada local. As amostras de solo para quantificação biológica, foram coletadas amostras na camada de 0,0 - 10 cm.

Após a coleta as mesmas foram acondicionadas em sacos plásticos dentro de caixas térmicas para manutenção da temperatura e umidade até a transferência para o laboratório de biologia e microbiologia da UFSM/FW. No laboratório, as amostras foram peneiradas em peneiras de aço inox com malha de 2 mm acondicionadas em BOD com temperatura de 4° C para prosseguir com as análises.

Para a determinação da biomassa microbiana, utilizou-se a metodologia adaptada por Andrea & Hollweg (2004) a partir da proposta por Vance et al., (1987), utilizando a técnica do clorofórmio fumigação-extração. Utilizou-se 20 g de solo, ajustando-se a umidade do solo a aproximadamente 60% da capacidade de campo, sendo estas fumigadas no dessecador, a vácuo com utilização de 50 ml de clorofórmio durante 24 horas. Após a fumigação das amostras, foram adicionadas em cada amostra 50ml de extrator, solução de hidróxido de potássio (KOH), e colocadas para agitar durante 30 minutos e posteriormente deixadas decantar por 30 minutos, junto destas, foram adicionadas três testemunhas, somente com a solução extratora sem solo para se obter o valor do branco (DA SILVA et al., 2007).

Após a decantação do material grosseiro das amostras foram retirados 8 ml de solução de cada amostra e dos brancos onde foram adicionados, respectivamente: 2 ml de Dicromato de Potássio; 10 ml de Ácido Sulfúrico; 5 ml de Ácido Orto-Fosfórico. Todos estes com auxílio de dispensador e em ordem cronológica. Após isso deixou-se esfriar as amostras e adicionou-se 70 ml de água deionizada, novamente esperou-se esfriar e adicionou-se quatro gotas de difenilamina. Para terminar o procedimento, ocorreu a titulação das amostras e do branco com a utilização de Sulfato Ferroso Amoniacal, onde as amostras no final da titulação partiram de uma cor púrpura para verde (DA SILVA et al., 2007).

Com os valores obtidos das titulações, das amostras fumigadas e das não fumigadas, procedeu-se para a parte dos cálculos para obtenção dos valores do Carbono da Biomassa Microbiana, onde foram utilizadas as seguintes equações:

Cálculo do teor de Carbono nos extratos:

$$C \text{ (mg C kg}^{-1} \text{ solo)} = \frac{(V_b - V_a) \cdot M \cdot 0,003 \cdot V_1 \cdot 10^6}{P_s \cdot V_2}$$

Onde: C (carbono extraído do solo); V_b (ml) (volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da solução controle, branco); V_a (ml) (volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra); M (molaridade exata do sulfato ferroso amoniacal); V₁ (volume do extrator (K₂SO₄) utilizado); V₂ (alíquota pipetada do extrato para titulação); 0,003 (miliequivalente do carbono); P_s (g) (massa do solo seco) (DA SILVA et al., 2007).

Cálculo da BMS-C:

$$\text{BMS-C (mg C microbiano kg}^{-1} \text{ solo)} = \text{FC} \cdot k_c^{-1}$$

Onde: BMS-C (carbono da biomassa microbiana do solo em mg de C por Kg de solo); FC (fluxo obtido da diferença entre a quantidade de carbono (mg Kg⁻¹), recuperada no extrato da amostra fumigada e a recuperada na amostra não fumigada); K_c (fator de correção (K_c= 0,33 conforme descrito por SPARLING & WEST (1988))).

Para completar as avaliações biológicas também foi realizada a quantificação da evolução do CO₂, respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂). Para essas análises, utilizou-se a metodologia originalmente proposta por Jenkinson & Powlson (1976). Após as amostras serem peneiradas na malha de 2 mm, foram utilizadas 50 g de solo de cada amostra para cada unidade experimental, contemplando 2 repetições para cada ponto e duas repetições do controle (branco) também para cada ponto, deste modo, totalizando 60 amostras para cada área avaliada.

Essas 50 gramas, foram acondicionadas em vidros de 1000 ml hermeticamente fechados para que não haja entrada de CO₂ do meio exterior nem escape de dentro dos vidros. Dentro destes vidros foi adicionado em copos plásticos de 50 ml, uma solução de Hidróxido de Sódio (NaOH) na quantidade de 10 ml por copo, sendo que no vidro controle foi adicionado somente a solução de NaOH sem a presença de solo.

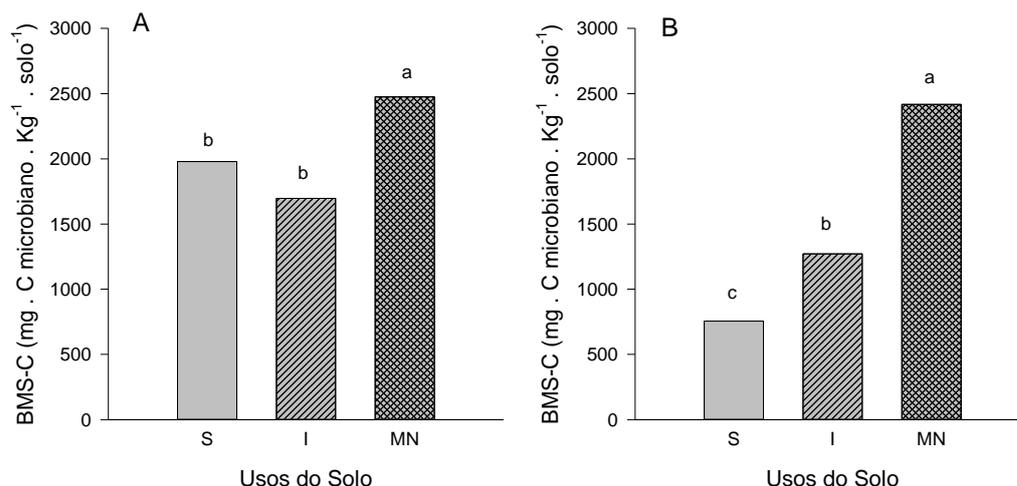
Após esse processo as amostras foram incubadas em BOD à temperatura constante de 26,5° C. Para titulação das amostras, no copo juntamente com a solução de NaOH, adicionou-se 2 ml de Cloreto de Bário (BaCl_2) a 10% para ocorrer a precipitação completa do CO_2 , posterior a isso adicionou-se 2 gotas de fenolftaleína a 1%, e por fim, foram tituladas essas amostras, tratamentos e controle, com solução de Ácido Clorídrico 0,5 M, onde a mesma parte de uma coloração rosa para uma coloração leitosa posteriormente incolor. Posterior a obtenção dos valores titulados semanalmente, por 6 semanas até a curva estabilizar, procedeu-se os cálculos da RBS e qCO_2 obtidos na metodologia descrita no comunicado técnico 99 da Embrapa (DA SILVA et al., 2007).

Os dados foram submetidos a análise de variância (Anova) para avaliar a influência dos usos do solo de cada área nas variáveis analisadas. Quando significativos, os resultados foram comparados usando o teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Para efeitos deste estudo cada local foi analisado separadamente, visto as diferenças e histórico entre as áreas. As análises foram realizadas através do software SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2014).

4.5- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na área de Seberi, para a variável BMS-C, não houve diferença significativa entre os usos agrícolas do solo, sendo encontrado o menor conteúdo de carbono na área com plantio irrigado (1697,10 mg C microbiano . kg^{-1} . solo^{-1}), seguida pelo plantio sequeiro (1980,56 mg . C microbiano . kg^{-1} . solo^{-1}), não diferindo estatisticamente entre si (Figura 1 A). Na mata nativa foram encontrados os maiores quantidade de BMS-C (2475,66 mg . C microbiano . kg^{-1} . solo^{-1}), diferindo dos sistemas de uso agrícola ($p < 0,05$). Para área de Santo Augusto, os usos do solo avaliados diferiram estatisticamente entre si. O menor valor de BMS-C foi encontrado no plantio sequeiro (755,04 mg . C microbiano . kg^{-1} . solo^{-1}), seguido pelo plantio irrigado (1270,50 mg . C microbiano . kg^{-1} . solo^{-1}) e o uso do solo com maior valor de BMS-C foi a mata nativa (2417.58 mg . C microbiano . kg^{-1} . solo^{-1}) (Figura 1 B).

Figura 1. Carbono da Biomassa Microbiana (BMS-C) nos diferentes usos do solo, Mata Nativa (MN), Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (A) e Santo Augusto (B).



Resultado esse que corrobora com o encontrado por Mazzeto et al. (2016), onde os autores afirmam que após a irrigação ser introduzida no local, a biomassa microbiana passa por flutuações até atingir um novo ponto de equilíbrio (SILVA et al., 2016).

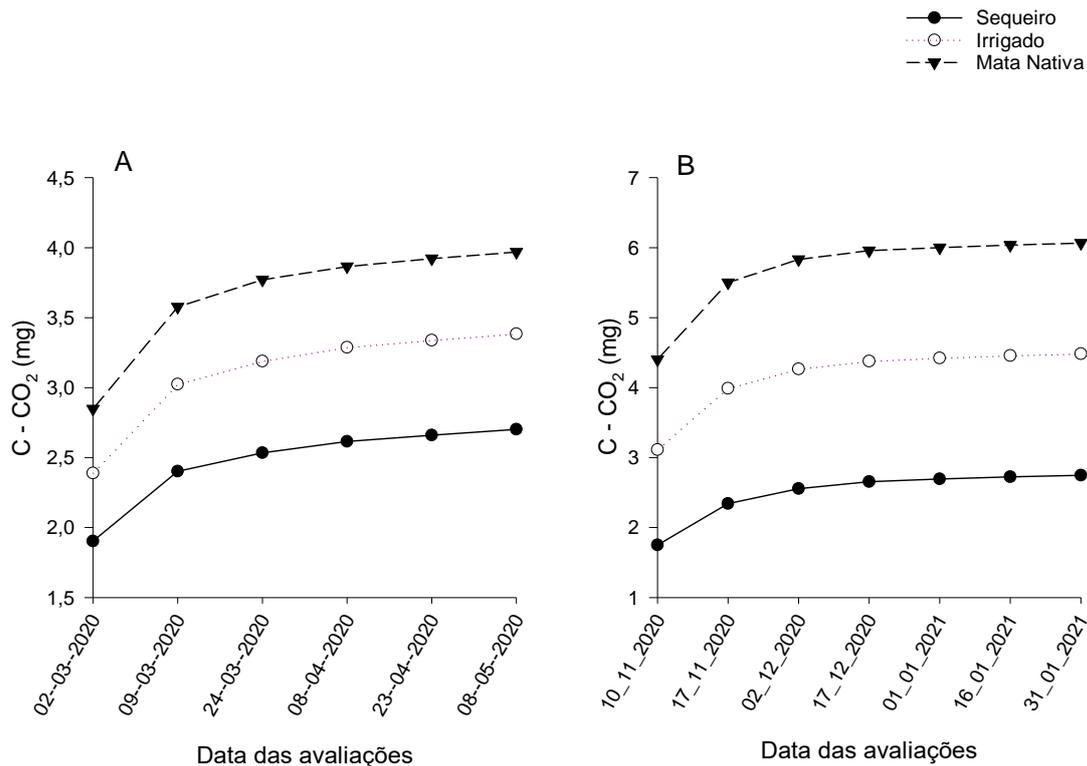
A diferença significativa de BMS-C na mata nativa quando comparado com os usos agrícola do solo, é oriunda da grande deposição de resíduos orgânicos na superfície do solo, da grande abundância de raízes dentro do perfil do solo, outro fator que contribui é que esse sistema encontra-se em equilíbrio, sem alterações, e isso, estimula a atividade da microbiota (PFENNING et al., 1992; PEREZ et al., 2004; SANTOS et al., 2004; NAVROSKI et al., 2018).

Nesta área, onde o sistema de irrigação é utilizado há cerca de 25 anos, e o ambiente já está em equilíbrio, observa-se diferença significativa nos valores de BMS-C entre plantio irrigado e sequeiro. Resultado esse, que vai de encontro com os encontrados por Cattelan & Vidor (1990) e Gonçalves et al. (1999), onde os autores em seus trabalhos também obtiveram uma maior quantidade de BMS-C em ambiente nativo e em áreas irrigadas, onde os autores atribuem essa maior quantidade devido a maior volume de água retida no solo. Segundo os autores há uma maior reprodução de organismos zimogênicos em condições de umidade do solo mais estável. Resultado que também corrobora com o encontrado por Moreira & Siqueira (2006), onde os autores também afirmam que a umidade junto com demais fatores, como a temperatura, favorece alterações nas populações microbianas.

Para as quantificações de Evolução de CO₂, ambas as áreas se comportaram de maneira semelhantes em ambos os usos do solo. Na mata nativa foram obtidos os maiores

valores, em seguida o solo sob plantio irrigado e os menores valores foram encontrados no plantio sequeiro. Quando comparado o plantio irrigado com o sequeiro, houve um aumento na evolução de CO_2 de 17,7 % para área de Seberi e 30 % para área de Santo Augusto entre a primeira e segunda avaliação (Figura 2).

Figura 2. Evolução do CO_2 (C- CO_2) nos diferentes usos do solo, Mata Nativa (MN), Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (A) e Santo Augusto (B).



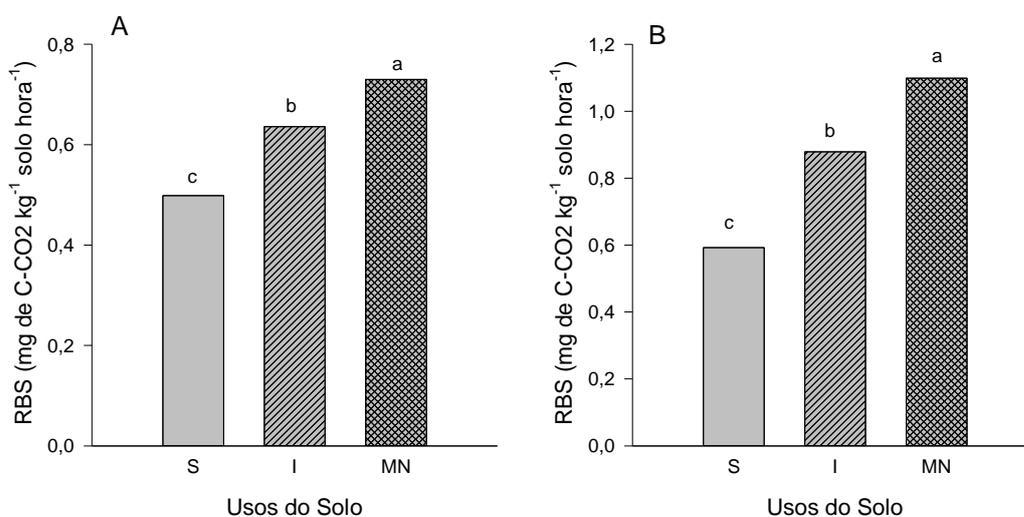
Em solos com condições muito úmida a respiração microbiana pode ser prejudicada pela restrição de oxigênio (LINN & DORAN, 1984). No entanto, em condições muito secas ocorre limitações quanto a solubilidade dos compostos orgânicos, além do mais, microrganismos decompositores necessitam de uma faixa ótima de umidade para seu crescimento, desenvolvimento e atividade, quanto menores as flutuações de umidade melhor, frequência esta que pode ser obtida com a técnica de irrigação (ZANCHI et al., 2002; MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Borges et al. (2015) avaliaram a evolução de CO_2 em solos com pastagens cultivadas e áreas com plantio direto e, observaram maior evolução de CO_2 nas áreas com menor amplitude de variações na umidade quando comparadas com áreas que havia maior amplitude de variações na umidade em ambas as áreas de cultivo.

Silva et al. (2009) encontraram resultados que corroboram com os do presente estudo, em que a evolução de CO₂ no solo sem estresse hídrico foi de 94,03% superior, quando comparada ao que apresentava estresse hídrico, deste modo, caracterizando a relevância da água para atividade microbiana de degradação do carbono no solo.

A Respiração Basal do Solo (RBS) origina-se da oxidação biológica da matéria orgânica em CO₂ pelos microrganismos aeróbicos e é influenciada pela disponibilidade de substrato, umidade e temperatura (ALEF & NANNIPIERI, 1995; BROOKES, 1995; SILVA et al. 2013; MEDEIROS et al. 2019).

A variável RBS, em ambas as áreas, foi encontrada diferença significativa entre os usos do solo, sendo o maior valor encontrado na mata nativa, seguido pelo plantio irrigado e o menor valor observado foi no plantio sequeiro (Figura 3).

Figura 3. Respiração Basal do Solo (RBS) nos diferentes usos do solo, Mata Nativa (MN), Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (A) e Santo Augusto (B).



Na área de Seberi houve uma redução de 21,57% na RBS do plantio sequeiro quando comparado com o plantio irrigado, na área de Santo Augusto essa diferença foi ainda maior, uma redução de 32,55% na RBS. Essa variação possivelmente está vinculada a umidade do solo, pois dentre os fatores que controlam a RBS, o teor de água do solo é um dos dominantes (MANZONI et al. 2012; MOYANO et al. 2013).

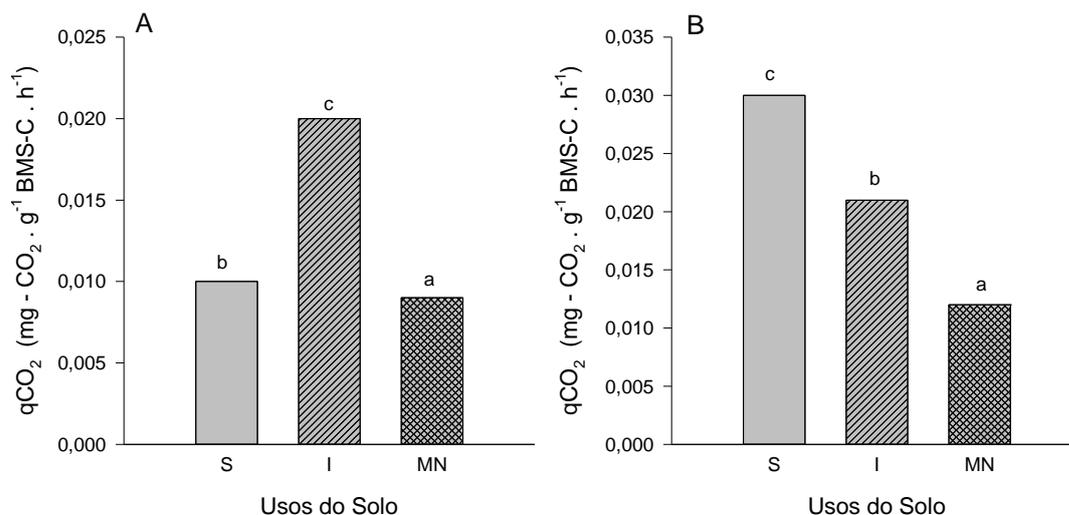
Resultados que vão de encontro a estes, também foram obtidos por Zhang et al. (2018), onde os autores avaliaram a RBS em diversos trabalhos ao longo do tempo de diversas culturas para criar um modelo matemático para avaliar a mesma, utilizando a

temperatura e umidade do solo. Após a pesquisa, os autores chegaram à conclusão que a dinâmica de maior ou menor RBS em relação a umidade mais estável do solo está ligada ao fato que de uma umidade baixa, ou mais instável, gera uma desaceleração das taxas de decomposição da matéria orgânica ou pela supressão das taxas fotossintéticas das plantas, as quais fornecem substrato para as raízes, sendo que as mesmas no futuro se tornarão substrato para os microrganismos (CURIEL YUSTE et al., 2007; VARGAS & ALLEN, 2008; RUEHR et al., 2010; MANZONI et al., 2012).

Para contemplar a análise da RBS, Cunha et al. (2012) afirmam que a interpretação dos resultados obtidos da atividade biológica deve ser feita com discernimento, pois altos valores de RBS nem sempre revelam condições favoráveis no meio, ou seja, podem haver agentes estressantes agindo sobre a comunidade microbiana. Deste modo, para avaliar o meio com mais critério é fundamental considerar a relação da RBS com o BMS-C, relação denominada quociente metabólico do solo (qCO_2), sendo que quanto mais próximo a zero for esse qCO_2 , menos estresse o meio apresenta (YADA et al., 2015).

Para a variável qCO_2 , em ambas as áreas, os tratamentos apresentaram diferença significativa entre si. Para área de Seberi, o maior valor encontrado foi na área de plantio irrigado, seguido pelo plantio sequeiro e o menor valor encontrado foi na área da mata nativa (Figura 4 A). No entanto, para área de Santo Augusto, onde a irrigação já está implantada a 25 anos, o maior valor foi encontrado no plantio sequeiro, seguido pelo plantio irrigado e o menor valor encontrado na mata nativa (Figura 4 B).

Figura 4. Quociente Metabólico do Solo (qCO_2) nos diferentes usos do solo, Mata Nativa (MN), Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (A) e Santo Augusto (B).



A microbiota do solo é muito sensível para mudanças que ocorrem nos ambientes de cultivo (OLIVEIRA et al., 2016). Deste modo, para área de Seberi onde a irrigação é recente, 10 anos de utilização, a área de plantio irrigado quando comparado com a área de sequeiro, possui um maior valor de RBS, no entanto, possui um o maior valor de qCO₂, deixando claro o estresse que está ocorrendo no ambiente com a mudança no ambiente de cultivo. Quando analisado a área de Santo Augusto, onde a irrigação já é utilizada há 25 anos, o sistema já encontra-se em equilíbrio, nota-se um valor elevado de RBS e um baixo valor de qCO₂, deste modo, apresentando um baixo estresse no ambiente.

Altos valores de qCO₂ resultantes de modificações impostas no ambiente, são descritos por vários trabalhos, onde os autores afirmam que mudanças relacionadas ao uso do solo ou implantação de novos manejos utilizados induzem um desequilíbrio da comunidade microbiana, alterações no metabolismo dos organismos, sendo que em condições de estresse, desfavoráveis, os microrganismos requerem mais energia, assim, resultando em maiores perdas de CO₂ e menor incorporação de Carbono no tecido (ANDERSON & DOMSCH, 1993; SCHIMEL et al., 2007; SANTOS et al., 2015; NOVAK et al., 2017).

4.6- CONCLUSÕES

1. O carbono da biomassa microbiana do solo não é alterado nos sistemas agrícolas de uso do solo, quando a técnica de irrigação é praticada a curto período de tempo 10 anos ou menos. No entanto, quando utilizada a longo período de tempo,

mínimo de 25 anos, nota-se aumento significativo da BMS-C em solo agrícola que utiliza a técnica de irrigação.

2. Nos sistemas agrícolas avaliados os maiores valores de evolução de CO₂ foram obtidos no plantio irrigado, mostrado assim, que a irrigação proporciona condições mais favoráveis para a atividade microbiana.
3. Para área de Seberi, percebe-se uma RBS significativamente superior para o plantio irrigado, no entanto a mesma está em estresse devido ao alto valor de qCO₂. Para área de Santo Augusto, o ambiente já entrou em equilíbrio, a área irrigada apresenta alto valor de RBS e baixo valor de qCO₂ em relação a área de sequeiro.

4.7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. O quociente metabólico para CO₂ (qCO₂) como um parâmetro de atividade específico para avaliar os efeitos das condições ambientais, como o pH, na biomassa microbiana de solos florestais. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, n.3, p. 393-395, 1993.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in Applied soil microbiology and biochemistry**. Londres: Academic Press,. 576p, 1995.

ANDREA, M. M.; HOLLWEG, M. J. M. Comparação de métodos para determinação da biomassa microbiana em dois solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 981-986, nov./dec. 2004.

BORGES, C. S.; RIBEIRO, B. T.; WENDLING, B.; CABRAL, D. A. Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO₂ em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 3, p. 660-675, 2015.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Bookman, 686 p., Ed. 3. 2013.

BROOKES, D. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, v. 19, p. 269-279, 1995.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.2, p.133-142, 1990. CONTE, I. I.; BOFF, L. A. As crises mundiais e a produção de alimentos no Brasil. **Acta Scientiarum: Human and Social Sciences**, v.35, n.1, p.49-59, 2013.

CHAVES, T. A.; ANDRADE, A. G.; LIMA, J. A. S.; PORTOCARRERO, H. Recuperação de áreas degradadas por erosão no meio rural. **Embrapa Solos-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, 2012.

- CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 56-63, 2012.
- CURIEL YUSTE, J.; BALDOCCHI, D. D.; GERSHENSON, A.; GOLDSTEIN, A.; MISSON, L.; WONG, S. Microbial soil respiration and its dependency on carbon inputs, soil temperature and moisture. **Global Change Biology**, v. 13, n. 9, p. 2018-2035, 2007.
- DA SILVA, E. E.; DE AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂). **Embrapa Agrobiologia-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2007.
- DA SILVA, E. E.; DE AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C). **Embrapa Agrobiologia-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2007.
- DA SILVA, T. A. C.; MELLONI, R.; MELLONI PEREIRA, E. G.; RAMOS, P. P.; PEREIRA, J. M. Avaliação da qualidade de solo de área de lixão desativado: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 02, p. 630-640, 2020.
- DIONÍSIO, J. A.; PIMENTEL, I. C.; SIGNOR, D. Respiração microbiana. In: DIONÍSIO, J. A.; PIMENTEL, I. C.; SIGNOR, D.; PAULA, A. M.; MACEDA, A.; MATANNA, A. L. Guia prático de biologia do solo. Curitiba: SBCS: NEPAR, Cap. 12, p. 72-77, 2016.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.
- FIDELIS, R. R.; ALEXANDRINO, C. M. S.; DA SILVA, D. B.; SUGAI, M. A. A.; DA SILVA RIBEIRO, R. Indicadores biológicos de qualidade do solo em culturas intercalares ao pinhão manso. **Braz. J. Appl. Technol. Agric. Sci**, v. 9, n. 3, p. 87-95, 2016.
- FONSECA, G.C.; CARNEIRO, M.A.C.; COSTA, A.R.; OLIVEIRA, G.C.; BALBINO, L.C. Atributos físicos, químicos e biológicos de latossolo vermelho distrófico de Cerrado sob duas rotações de cultura. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.37, n.1, p.22-30, 2007.
- GONÇALVES, A. S.; MONTEIRO, M. T.; BEZERRA, F. E. A.; GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H. Estudo de variáveis de solo, vegetação e condicionamento de amostras de solo sobre a biomassa microbiana do solo no Estado do Rio de Janeiro. **Embrapa Agrobiologia-Documentos (INFOTECA-E)**, 1999.
- LINN, D. M.; DORAN, J. W. Effects of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and notilled soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, p. 1267-1272, 1984.
- MANZONI, S.; SCHIMEL, J. P.; PORPORATO, A. Responses of soil microbial communities to water stress: results from a meta-analysis. **Ecology**, v. 93, n. 4, p. 930-938, 2012.
- MAZZETTO, A. M.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; CERRI CLEMENTE, C. Atividade da biomassa microbiana do solo alterada pelo uso da terra no sudoeste da Amazônia. **Bragantia**, v. 75, n. 1, p. 79-86, 2016.

- MEDEIROS, T. S.; GOMES, A. R. M. G.; ALVES, M. P. B.; MARCELINO, A. S.; SANTOS, D. M.; GIONGO, A. M. M.; COSTA, A. R. Production of radish (*Raphanus sativus* L.) cultivated under bovine manure levels and soil basal respiration. **Brazilian Applied Science Review**. Curitiba, v.3, n. 2, p. 1348-1357 p, 2595-3621. 2019.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: UFLA, 2006. 626p.
- MOYANO, F. E.; MANZONI, S.; CHENU, C. Responses of soil heterotrophic respiration to moisture availability: An exploration of processes and models. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 59, p. 72-85, 2013.
- NAVROSKI, D.; MOREIRA, A.; GUIMARÃES, M. F.; FILHO, A. C. Changes in microbiological attributes of a Red Latosol under different cropping systems. **Embrapa Soja-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2018.
- NOVAK, E.; CARVALHO, L. A.; SANTIAGO, E. F.; PORTILHO, I. I. R. Chemical and microbiological attributes under different soil cover. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 19-30, 2017.
- OLIVEIRA, B. S.; DE CARVALHO, M. A. C.; LANGE, A.; WRUCK, F. J.; DALLACORT, R. Atributos biológicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, na região amazônica. **Revista engenharia na agricultura-reveng**, v. 23, n. 5, p. 448-456, 2015.
- OLIVEIRA, S. P.; CÂNDIDO, M. J. D.; WEBER, O. B.; XAVIER, F. A. S.; ESCOBAR, M. E. O.; OLIVEIRA, T. S. Conversion of forest into irrigated pasture I. Changes in the chemical and biological properties of the soil. **Catena**, v. 137, p. 508-516, 2016.
- PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 567-573, 2004.
- PFENNING, L.; EDUARDO, B. de P.; CERRI, C.C. Os métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana de solos da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.31-37, 1992.
- RUEHR, N. K.; KNOHL, A.; BUCHMANN, N. Environmental variables controlling soil respiration on diurnal, seasonal and annual time-scales in a mixed mountain forest in Switzerland. **Biogeochemistry**, v. 98, n. 1, p. 153-170, 2010.
- SANTOS, C. A.; KRAWULSKI, C. C.; BINI, D.; FILHO, T. G.; KNOB, A.; MEDINA, C. C.; FILHO, G. A.; NOGUEIRA, M. A. Status de recuperação de uma pastagem degradada com base em indicadores de saúde do solo. **Scientia Agricola**, v.72, n.3, p.195-202, 2015.
- SANTOS, V. B.; CASTILHOS, D.; CASTILHOS ROSA, M. V.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; SILVA, D. G. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira Agrocência**, Pelotas, v. 10, n. 3, p. 333-338, 2004.
- SCHIMEL, J.; BALSER, T. C.; WALLENSTEIN, M. Fisiologia da resposta ao estresse microbiano e suas implicações para a função do ecossistema. **Ecology**, v.88, n.6, p.1386-1394, 2007.

SILVA, C. M.; VASCONCELOS, S. S.; MOURÃO JÚNIOR, M.; BISPO, C. J. C.; KATO, O. R.; SILVA JÚNIOR, A. C.; CASTELLANI, D. C. Variação temporal do efluxo de CO₂ do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 1, p. 1-12, 2016. SILVA, D. A. O.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. A.; SILVA, Ê. F. F.; DA SILVA, J. L. B.; BEZERRA, A. C. Evolução Espaço-Temporal do Risco de Degradação da Cobertura Vegetal de Petrolina-PE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 1, p. 89-99, 2019.

SILVA, J. M.; ALBURQUERQUE, L. S. D.; SANTOS, T. M. C. D.; OLIVEIRA, J. U. L. D.; GUEDES, E. L. F. Mineralização de vermicompostos estimada pela respiração microbiana. **Revista Verde**, Pombal, PB, v. 8, n. 4, p. 132-135, 2013

SILVA, W. M.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; FERRI, M.; MAGALHÃES, W. A. Atividade microbiana e decomposição de diferentes resíduos orgânicos em um solo sob condições de campo e estresse hídrico simulado. **Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 6, p. 33-46, 2009.

SILVA, R.R.; SILVA, M.L.N.; CARDOSO, E.L.; MOREIRA, F.M.S.; CURTI, N.; ALOVISI, A.M.T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.5, p.1585-1592, 2010.

SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial – C – calibration in situ using microbial respiration and ¹⁴C-labeled cells. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 20, n. 3, p. 337 – 343, 1988.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 19, n.6, p. 703-707, 1987.

VARGAS, R.; ALLEN, M. F. Environmental controls and the influence of vegetation type, fine roots and rhizomorphs on diel and seasonal variation in soil respiration. **New Phytologist**, v. 179, n. 2, p. 460-471, 2008.

ZANCHI, F. B.; GOMES, B. M.; VON RANDOW, C.; KRUIJT, B.; MANZI, A. O. **Medições dos fluxos de dióxido de carbono e estimativa do "fetch" (área de influência) em pastagem e floresta em Rondônia.** In: CONGRESSO DE ESTUDANTES E BOLSISTAS DO EXPERIMENTO LBA, 1., 2002, Belém. Anais... Belém: LBA, 2002. p. 13.

YADA, M. M.; MINGOTTE, F. L. C.; DE MELLO JOSÉ, W.; DE MELLO PERUCA, G.; DE MELO VALÉRIA, P.; LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. Í. Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração de estanho e em fase de recuperação em ecossistema amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 714-724, 2015.

ZHANG, Q.; PHILLIPS, R. P.; MANZONI, S.; SCOTT, R. L.; OISHI, A. C.; FINZI, A.; DALY, E.; VARGAS, R.; NOVICK, K. A. Changes in photosynthesis and soil moisture drive the seasonal soil respiration-temperature hysteresis relationship. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 259, p. 184-195, 2018.

5- ARTIGO 3: SOIL MANAGEMENT ASSESSMENT FRAMEWORK (SMAF) COMO ESTRATÉGIA NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES USOS E MANEJOS

5.1- RESUMO

O aumento na demanda por alimentos, rações, fibras e combustíveis gerou uma intensificação na expansão agrícola mundial e por consequência elevou a pressão sobre os recursos naturais, especificamente o solo. Para realizar a avaliação da qualidade do solo, muitas estratégias estão sendo testadas, dentre as metodologias avaliadas a mais promissora é o Soil Management Assessment Framework (SMAF). Objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos causados pela mudança de uso do solo de vegetação nativa para área de cultivo e o impacto do uso de irrigação através da metodologia SMAF. O estudo foi realizado em duas áreas sendo avaliada: mata nativa (MN), plantio sequeiro (S) e plantio irrigado (I). Para cada local de uso do solo foi realizada uma amostragem, com 9 pontos amostrais distanciados 50 m entre si com 3 replicatas, totalizando 27 pontos amostrais para cada local. As amostras foram levadas para o laboratório onde se realizou a avaliações de densidade do solo, BMS-C, COS, pH do solo e P e K. Com os resultados obtidos dos parâmetros químicos, físicos e biológicos do solo foi calculado a qualidade química, física e biológica do solo e o Índice de Qualidade do Solo (IQS) utilizando a metodologia SMAF. Para a qualidade física e biológica do solo, a MN se sobressaiu dos demais tratamentos, demonstrando a degradação dessas propriedades que é ocasionada na mudança do uso do solo. No entanto, a qualidade química nos usos do solo com cultivos agrícolas apresentou maior qualidade, resultado da correção e adubação do solo para o cultivo de grãos. Nota-se que os solos cultivados não estão operando em sua capacidade máxima.

Palavras chave: Usos do solo. Índice de qualidade do solo. Metodologia SMAF.

ARTICLE 3: SOIL MANAGEMENT ASSESSMENT FRAMEWORK (SMAF) AS A STRATEGY IN ASSESSING SOIL QUALITY IN DIFFERENT USE AND MANAGEMENT

5.2- ABSTRACT

The increase in the demand for food, feed, fiber and, fuels generated an intensification in the world agricultural expansion and, consequently, increased the pressure on natural resources, specifically the soil. To carry out the assessment of soil quality, many strategies are being tested to assess forms of land use and management carried out in anthropogenic areas. The most promising strategy to carry out this assessment is the Soil Management Assessment Framework (SMAF). The objective of this study was to evaluate the impacts arising from the change of land use from native vegetation to the cultivation area with and without the irrigation system using the SMAF methodology. The study was carried out in two areas contemplating the following treatments: native forest (MN), rainfed planting (S), and irrigated planting (I). For each land use site, sampling was carried out

in a sequence of 9 sampling points 50 m apart with 3 replicates, constituting 27 sampling points for each site. Afterward, the samples were taken to the laboratory where evaluations were carried out to select the attributes to be used, namely, soil density, BMS-C, COS, soil pH, and P and K. Subsequently, the methodology was used. The SMAF generates the weighted averages of each soil property and the overall IQS. For the physical and biological quality of the soil, MN stood out from the other treatments, demonstrating the degradation of these properties caused by the land use change. However, the soil chemical quality of the treatments and the uses of the cultivated soil was highest, justifying the importance of correction and soil fertilization to increase the IQS. It is noted that the cultivated soils are not operating at their maximum capacity, but due to the practices used, they are equal to or stand out from the MN in the IQS.

Keywords: Land uses. Soil quality index. SMAF Methodology.

5.3- INTRODUÇÃO

A irrigação no cenário Brasileiro segundo Souza et al. (2012) demonstram que no estado do Pará o crescimento da área irrigada entre os anos de 1996 a 2006 foi de 611%, passando de 4.797 para 29.333 hectares irrigados. Na bacia do rio Paranaíba, formador do rio Paraná em áreas de Goiás, Minas Gerais, Distrito Federal e Mato Grosso do Sul levantamentos identificaram 608.000 hectares irrigados em 2010, área essa que é o dobro da irrigada em 2006. ANA & Embrapa (2016) apresentaram uma expansão de 43,3% (mais de 382.000 hectares) da área irrigada de pivôs centrais no Brasil entre os anos de 2006 a 2014 e para o ano de 2021, segundo ANA (2021), o Brasil conta com 8,2 milhões de hectares equipados com irrigação e até o ano de 2040 o Brasil deverá expandir sua área irrigada em mais 4,2 milhões de hectares.

Devido a este aumento na demanda por alimentos, rações, fibras e combustíveis ocorreu uma intensificação na expansão agrícola mundial e por consequência, elevou a pressão sobre os recursos naturais, especificamente o solo. Dentre os impactos ambientais oriundos da agricultura estão aqueles originados pela expansão, ou seja, mudanças no uso do solo, quando terras agrícolas e pastagens avançam para novas áreas que antes eram campos e matas nativas, reduzindo drasticamente o Carbono orgânico do solo e aqueles originados pela intensificação, ou seja, quando terras agrícolas ou pastagens são manejadas de forma a serem mais produtivas usando irrigação, biocidas e mecanização pesada, aumentando a densidade do solo e reduzindo a biomassa microbiana. Deste modo, encontrar uma forma de monitorar e avaliar as modificações na qualidade do solo induzidas por essas práticas de uso e manejo solo torna-se fundamental para identificar e

adotar sistemas agrícolas mais sustentáveis (FOLEY et al., 2005; FOLEY et al., 2011; CHERUBIN et al., 2015).

É um conceito complexo que não pode ser analisado diretamente no campo ou laboratório, contudo, pode ser inferido através de atributos e processos do solo sensíveis a forma de uso ou manejos inseridos no solo, chamados de indicadores de qualidade do solo (CARDOSO, et al., 2013; ZORNOZA et al., 2015; CHERUBIN et al., 2017).

Para realizar essa avaliação da qualidade do solo, muitas estratégias estão sendo testadas, porém não existe uma estratégia inteiramente aceita para avaliar formas de uso do solo e manejos (MUKHERJEE & LAL, 2014; DE PAUL OBADE & LAL, 2016). Recentemente, no entanto, a estratégia mais promissora para realizar essa avaliação é o Soil Management Assessment Framework (SMAF) (Andrews et al., 2004).

Inicialmente o método SMAF foi criado para solos da América do Norte e recentemente foi introduzido no Brasil por Cherubin et al. (2016). O método é embasado em três etapas: (i) Seleção dos indicadores, sendo eles físicos, químicos e biológicos; (ii) Interpretação dos indicadores através das curvas de pontuações não lineares; (iii) Integração de todos os indicadores em um índice de qualidade do solo geral, onde o mesmo é expresso como uma fração do desempenho total das funções do solo (ANDREWS et al., 2004). No entanto, devido a heterogeneidade dos solos e do clima associados a questões ambientais, sociais e políticas que influenciam o manejo do solo, a busca por um índice universal de qualidade do solo torna-se inviável, deste modo, para adaptar esta ferramenta a diferentes formas de uso e manejo do solo e clima, tem sido testada em vários locais do mundo como América do Norte, África do sul, Nepal e no Brasil (KALU et al., 2015; SWANEPOEL et al., 2015; CHERUBIN et al., 2016; PRADO et al., 2016).

No Brasil, a metodologia SMAF foi introduzida por Cherubin et al. (2016) no estudo que avaliou os impactos da mudança do uso da terra em solos da região do Cerrado, porém os autores relatam que a metodologia é eficaz na avaliação dos efeitos de diferentes práticas de manejo em solos do Brasil. Novas pesquisas que avaliem condições climáticas e sistemas de manejo diferentes devem ser realizadas para ajustar e validar os algoritmos do SMAF (CHERUBIN et al., 2017; DA LUZ et al., 2019).

Para isso, foi realizado um estudo de campo no Estado do Rio Grande do Sul para testar as seguintes hipóteses: i) a mudança no uso da terra de ambiente nativo para ambiente cultivado causa a degradação do solo, no entanto quando a utilização o sistema

de plantio direto aliado a irrigação pode melhorar a qualidade deste solo. ii) as mudanças na qualidade do solo podem ser adequadamente aferidas utilizando a metodologia SMAF. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos causados na mudança de uso do solo de vegetação nativa para área de cultivo com e sem o sistema de irrigação através da metodologia SMAF.

5.4- MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste estudo foram coletadas amostras de solo em dois locais no estado do Rio Grande do Sul com características semelhantes. Os locais selecionados foram: (1) Lavoura comercial localizada no município de Seberi-RS, cujas coordenadas geográficas são 27° 36'S e 53° 24'O com 520 metros de altitude com solo argiloso oriundo da formação Serra Geral, substrato basalto. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com textura argilosa (EMBRAPA 2016), 662g kg⁻¹ de argila, 258 g kg⁻¹ de silte e 80 g kg⁻¹ de areia. (2) Lavoura comercial localizada no município de Santo Augusto-RS, cujas coordenadas geográficas são 27° 51' 35.6" S e 53° 45' 28.3" O com 509 metros de altitude, com solo argiloso oriundo da formação Serra Geral, substrato basalto. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com textura argilosa (EMBRAPA, 2016), 643 g kg⁻¹ de argila, 238 g kg⁻¹ de silte e 119 g kg⁻¹ de areia.

As amostras de solo foram coletadas em fevereiro de 2020 (Seberi) e novembro de 2020 (Santo Augusto), sendo que as amostras do mesmo local foram coletadas no mesmo dia sobre as mesmas condições. Para cada local de uso do solo a amostragem foi constituída de 9 pontos amostrais distanciados 50 m entre si, deste modo, constituindo 27 pontos amostrais para cada local. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0,0-0,05; e 0,05-0,10 m. Para as análises de densidade, microporosidade, macroporosidade e porosidade total, foram coletadas amostras com estrutura preservada em anéis volumétricos com 0,05 m de altura e 5 cm de diâmetro, totalizando um volume de 98 cm³. Após a coleta das amostras as mesmas foram conduzidas para o laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, *campus* Frederico Westphalen (UFSM-FW), onde as amostras permaneceram sob refrigeração (5° C), para inibir a atividade biológica e possíveis ocorrências que poderiam modificar sua estrutura (germinação de sementes e atividade de insetos e minhocas) até sua preparação para análise.

Para a realização das análises físicas e biológicas utilizadas neste artigo, o acondicionamento, processamento e análise das mesmas seguiram as metodologias já antes citadas nos artigos um e dois desta dissertação. Para as análises químicas, o modo de coleta foi o mesmo utilizado para as análises biológicas. Para a avaliação dos teores de fósforo e potássio, as amostras foram destorroadas, maceradas e colocadas em estufa, para secarem, com circulação forçada de ar a 45° C até atingirem peso constante e após foram peneiradas em uma peneira de malha 2mm. A extração dos elementos foi determinada método Mehlich⁻¹, onde o potássio foi aferido por fotometria de chama e o fósforo por espectrofotômetro (TEDESCO et al., 1995). Para aferição do pH foi utilizado um eletrodo de vidro, sendo realizado uma agitação e posteriormente repouso da amostra composta por 10 ml de solo e 10 ml de água destilada.

A qualidade do solo foi quantificada através da metodologia Soil Management Assessment Framework (SMAF) utilizando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Análise do índice SMAF é composta por três etapas, seleção de indicadores, interpretação dos indicadores e integração dos indicadores de qualidade do solo (ANDREWS et al., 2004).

Na primeira etapa da metodologia SMAF, foram selecionados o conjunto mínimo de dados dos algoritmos presentes na metodologia. Para representar a qualidade química dos solos foram escolhidos o pH, fósforo e potássio (Tabela 1). Para representar a qualidade física do solo foi escolhido a densidade do solo, e para qualidade biológica do solo foi utilizado o carbono da biomassa microbiana. As pontuações para cada indicador de qualidade do solo (IQS) são definidas de acordo com o indicador e sua relação com as funções do solo relacionadas. Deste modo, para os indicadores em que seus valores elevados são considerados “bons” a curva é denominada como “mais é melhor” aplicando-se a Fósforo (P), Potássio (K) e Carbono Orgânico do Solo (COS). Para os indicadores em que seus valores baixos são considerados “bons” a denominação da curva é “menos é melhor” aplicando-se à Densidade do Solo (Ds). Por fim, indicadores como o pH do solo é dependente de um valor ótimo para cada cultura, sendo este, considerado 6,0 para a maioria das culturas agrícolas (ANDREWS et al., 2004; DA LUZ et al., 2019).

Tabela 1. Teores médios dos atributos químicos das amostras de solo agrupadas por uso do solo na camada de 0,00 – 0,10 m, para área de Seberi (irrigação há 10 anos) e área de Santo Augusto (irrigação há 25 anos).

	M.O.	pH	P	K
Uso do solo	-- % --	-----	m ³ m ⁻³ -----	-----
-----Seberi-----				
Mata nativa	8,2	3,6	4,1	89,4
Irrigado	3,5	6,0	11,3	184,4
Sequeiro	2,7	5,4	17,4	154,8
-----Santo Augusto-----				
Mata Nativa	9,1	3,8	2,7	84,0
Irrigado	3,8	5,4	23,4	196,8
Sequeiro	2,1	6,0	11,7	251,4

Na segunda etapa da metodologia os valores aferidos para os indicadores de solo, expressos em diferentes unidades, são padronizados em scores que variam de 0 a 1 utilizando os algoritmos (*scoring curves*) contidos na planilha SMAF. Os algoritmos desenvolvidos para cada indicador são baseados na taxonomia do solo, sendo, mineralogia, textura, temperatura média, declividade, regime pluviométrico (ANDREWS et al., 2004; WIENHOLD et al., 2009). As curvas de pontuação para pH, fósforo e potássio foram de acordo com Rieth (2019) e Da Luz et al. (2019) que ajustaram as curvas para definir os limites (nível crítico) desses indicadores dentro dos seus respectivos algoritmos conforme recomendações da região Sul do Brasil (CQFS – RS, 2016).

Por fim, na terceira etapa, os escores dos indicadores individuais foram integrados em um índice de qualidade ponderada do solo (IQS) pela seguinte equação:

$$IQS = \sum_{i=1}^n SiWi$$

Onde: Si é a pontuação do indicador e Wi é o peso do indicador. Os escores foram ponderados pelas propriedades químicas, físicas e biológicas onde cada propriedade independentemente do número de indicadores, teve peso equivalente no índice final (CHERUBIN, et al., 2016).

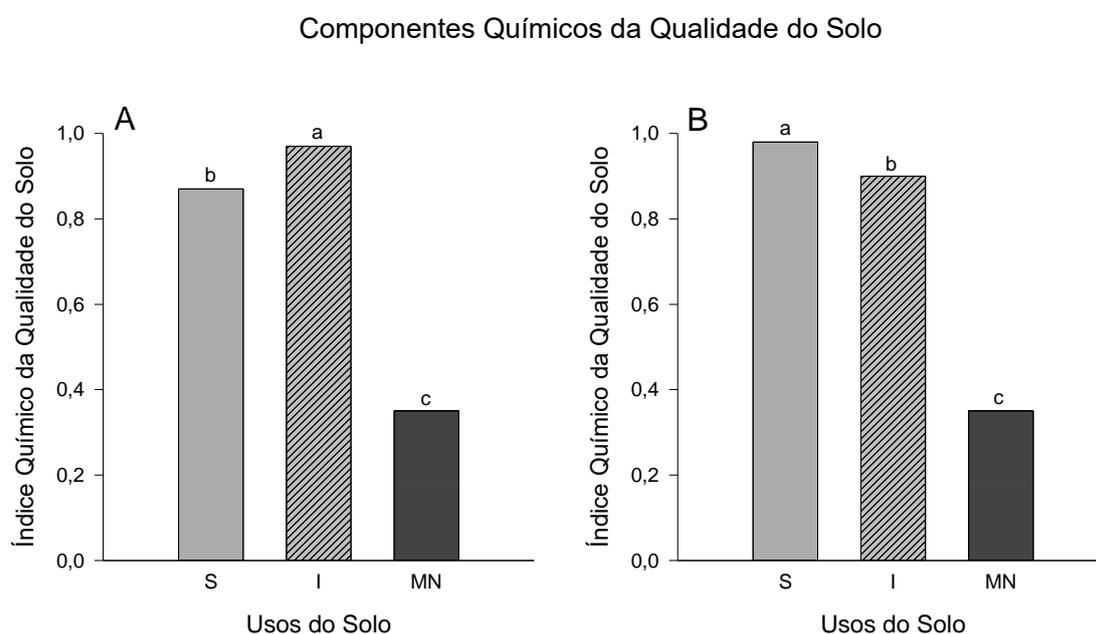
Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (Anova) para avaliar a influência dos usos do solo de cada área nas variáveis analisadas. Quando significativos, os resultados foram comparados usando o teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Para efeitos deste

estudo cada local foi analisado separadamente, visto as diferenças e histórico entre as áreas. As análises foram realizadas com o uso do software SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2014).

5.5- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o índice de qualidade química do solo (QS) os sistemas de uso do solo diferiram-se entre si ($p < 0,05$). Para a área de Seberi (Figura 1 A), o uso do solo com maior score foi o do plantio irrigado (0,97), seguido pelo plantio sequeiro (0,87) e o menor score encontrado foi na mata nativa (0,35). Para a área de Santo Augusto (figura 1 B), o maior score foi encontrado no plantio sequeiro (0,98), seguido pelo plantio irrigado (0,90) e o menor score também foi encontrado na mata nativa (0,35).

Figura 1. Contribuição ponderada das propriedades químicas do solo nos diferentes usos do solo, Mata Nativa (MN), Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (A) e Santo Augusto (B).



O baixo score químico encontrado no uso do solo mata nativa em ambas as áreas, está vinculado ao fato desses solos possuir uma baixa fertilidade natural e apresentar elevada acidez (PORTUGAL et al., 2010; CARNEIRO et al., 2018). Nos usos agrícolas é realizada a correção da acidez do solo bem como adubações de correção e manutenção

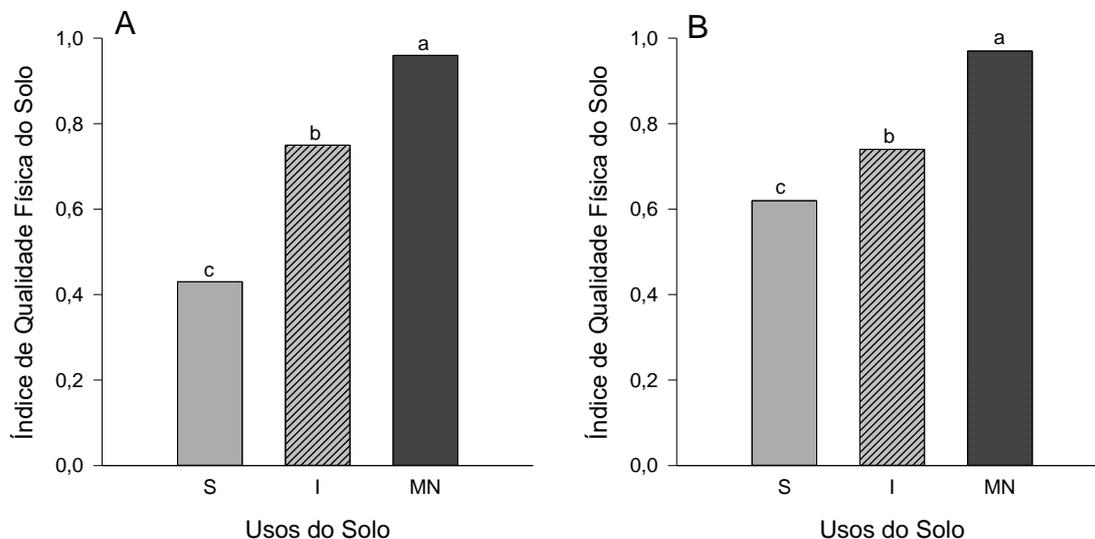
da fertilidade química, o que resulta no aumento do índice de qualidade química nestas áreas.

Resultados que corroboram com estes também são descritos por De Freitas et al. (2015), onde os autores avaliaram os atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob vegetação nativa, cultivo de cana-de-açúcar e área reflorestada, onde o pH do solo da mata nativa variou entre 3,7 a 3,8 sendo que nos demais tratamentos o mesmo ficou entre 5,2 a 6,3. Além disso, os menores teores de fósforo (P) e potássio (K) também foram encontrados no ambiente nativo, isso devido a não correção dos mesmos com adubação e pelo fato da alta capacidade de drenagem encontrado no ambiente nativo a qual favorece a lixiviação de nutrientes como K e cálcio (Ca).

Em outro estudo realizado por Melo et al. (2017), os autores avaliaram a qualidade química de Latossolos com mata nativa, reflorestamento e solos cultivados com pastagens e com a cultura do café. Nesta análise os autores afirmaram que os maiores valores médios de pH do solo também foram encontrados nos ambientes cultivados ficando, 7,0 para pastagem cultivada, 6,7 para cultivo do café e 4,2 para mata nativa. A disponibilidade de P também foi expressivo para os ambientes de cultivo, sendo encontrado 6,2 mg kg⁻¹ na mata, 21,5 mg kg⁻¹ para pastagem cultivada e 27,2 mg kg⁻¹ para área de reflorestamento, importando cerca de três vezes maior os teores em ambiente de cultivo quando comparado a mata nativa. Deste modo, evidencia-se que a conversão do uso do solo de mata nativa para solos agricultáveis propicia melhoria na qualidade química do solo.

Figura 2. Contribuição ponderada das propriedades físicas do solo nos diferentes usos do solo, Mata Nativa (MN), Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (A) e Santo Augusto (B).

Componentes Físicos da Qualidade do Solo



A qualidade física do solo depende majoritariamente da estrutura do solo do que da textura, pois ao elevar a estruturação de um solo a qualidade física do mesmo aumenta (MILLAN et al., 2014). Mudanças no uso da terra como a conversão de florestas naturais em lavouras agrícolas geralmente ocasionam adensamento e redução da macroporosidade dos solos, além de provocar a redução na quantidade e qualidade do carbono orgânico do solo (SOC). Onde essa perda de SOC pode levar décadas ou mesmo séculos após a mudança no uso do solo para que o conteúdo de SOC seja recuperado (CHEN et al., 2017).

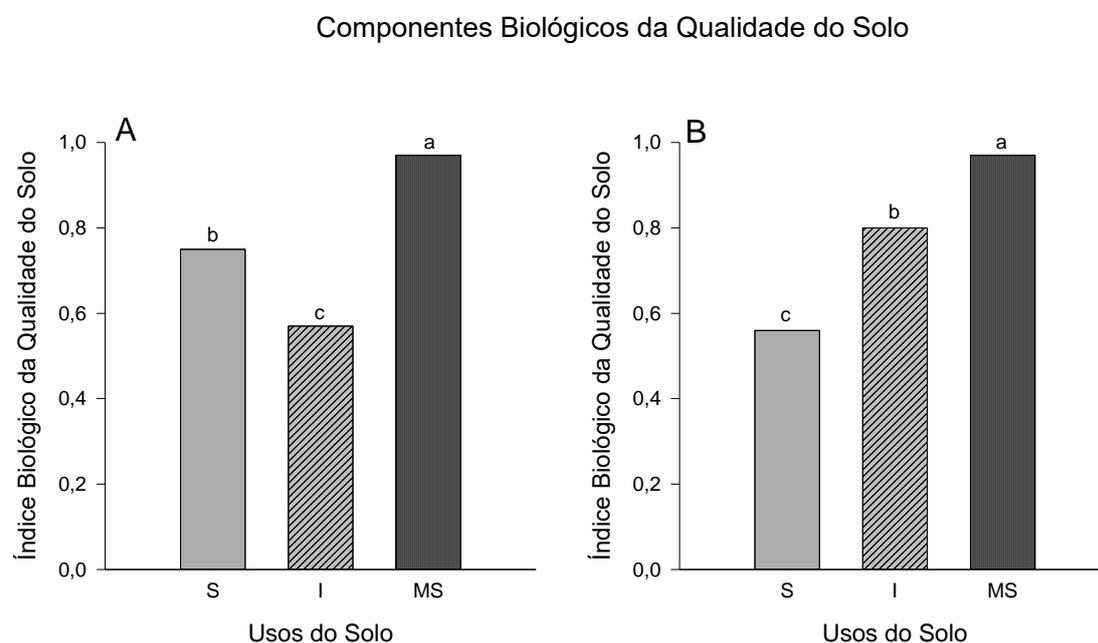
A qualidade física do solo (FS) em ambas as áreas se comportaram de maneira semelhante onde todos os usos do solo diferiram-se entre si. Para a área de Seberi (Figura 2 A), o uso do solo com maior score foi a mata nativa (0,96), seguido pelo plantio irrigado (0,75) e o menor score encontrado foi no plantio sequeiro (0,43). Para a área de Santo Augusto (Figura 2 B), o maior score foi encontrado na mata nativa (0,97), seguido pelo plantio irrigado (0,74) e o menor score também foi encontrado no plantio sequeiro (0,62). Resultado esse que é decorrente de um maior acúmulo de SOC presente na mata nativa, além de maior quantidade de macroporosidade e menor densidade presente neste uso do solo quando comparado com os usos agrícolas, deste modo importando um maior escore ao mesmo.

Resultados que corroboram com estes também são descritos por Davari et al. (2020), onde os autores avaliaram a qualidade física do solo de áreas agrícolas com áreas

de florestas nativas. Os autores também apresentaram uma menor qualidade do solo em áreas agricultáveis quando comparados a florestas nativas, isso devido ao grande aumento na densidade do solo das terras agricultáveis, as quais foram de 20,2% a 35,7% superiores a densidade do solo de florestas nativas e uma redução que variou de 8,0% a 16,4% na porosidade total do solo quando comparado com a floresta nativa. Esse processo de mudança no uso do solo, de mata nativa para área cultivada, tende a aumentar o estado de compactação do solo, resultado do revolvimento realizado no processo de abertura das áreas e do intenso tráfego de máquinas (CELIK, 2005; HAGHIGHI et al., 2010; BEHESHTI et al., 2012).

Outros autores avaliando o impacto da conversão de áreas nativas em áreas de cultivo agrícola encontraram redução na qualidade física do solo ao comparar mata nativa com ambientes cultivados com pastagem e cultura do café (Melo et al. 2017).

Figura 3. Contribuição ponderada das propriedades biológicas do solo nos diferentes usos do solo, Mata Nativa (MN), Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (A) e Santo Augusto (B).



Para o índice de qualidade biológica do solo (BS) em ambas as áreas os tratamentos diferiram-se entre si. Para a área de Seberi (Figura 3 A), o uso do solo com maior score foi a mata nativa (0,97), seguido pelo plantio sequeiro (0,75) e o menor score encontrado foi no plantio irrigado (0,57). Para a área de Santo Augusto (figura 3B), o

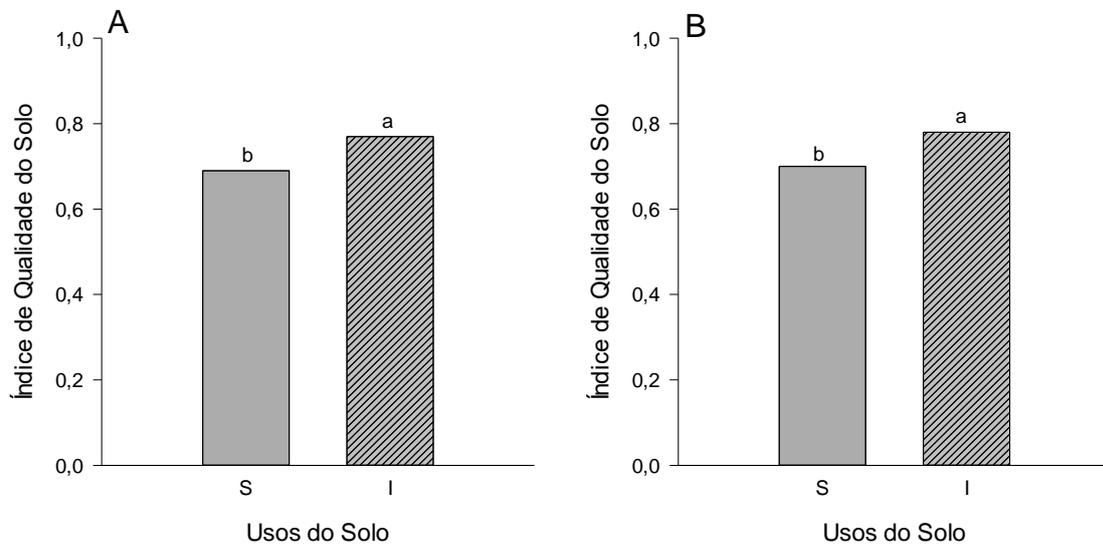
maior score foi encontrado na mata nativa (0,97), seguido pelo plantio irrigado (0,80) e o menor score também foi encontrado no plantio sequeiro (0,56).

Resultados que corroboram com o encontrado também são descritos por Raiesi & Beheshti (2015), onde a BMS-C, foi em média 76% e o SOC foi 69% mais baixos nas áreas de cultivo agrícola quando comparado com o tratamento de mata nativa. A BS é fortemente afetada pela mudança no uso do solo, sendo que conversão de sistemas naturais em áreas de cultivos agrícolas reduz a qualidade do solo (SAVIOZZI et al., 2001; SAGGAR et al., 2001; TRIPATHI et al., 2007).

O conteúdo de água no solo afeta o estado fisiológico das plantas e principalmente dos microrganismos (WALKER et al., 2003). Depois de um longo prazo de adoção do sistema de irrigação, a mesma deixa de ser um fator estressante para a qualidade biológica do solo e o ambiente entra em equilíbrio, conforme demonstra o aumento de 28,75% na BS no solo irrigado da área de Santo Augusto quando comparado com a de Seberi, (Figura 3). Solos mais úmidos mantêm comunidades microbianas mais diversificadas funcionalmente (SILVA et al., 2008). Resultados esses que contrariam os encontrados por BOROWIK & WYSZKOWSKA (2016), onde os autores avaliaram os atributos biológicos do solo, em quatro texturas diferentes de solo e com tratamentos de 20%, 40% e 60% da capacidade de campo e solo seco, sendo avaliado os atributos biológicos após sete dias de implantação do experimento. Neste estudo, os autores não encontraram diferenças entre os tratamentos, isso devido ao pouco tempo de implantação do experimento. Pois efeitos na mudança de uso do solo e de práticas de manejo requerem estudos de longo prazo para que seja notadas modificações na BS do solo (ELLERT & BETTANY, 1995)

Figura 4. Índice Geral de Qualidade do Solo nos diferentes usos do solo, Irrigado (I) e Sequeiro (S), área de Seberi (A) e Santo Augusto (B).

Índice Geral de Qualidade do Solo



A qualidade do solo é estabelecida como a capacidade de um determinado solo funcionar dentro de um ecossistema, natural ou manejado, com o intuito de sustentar a produtividade animal e vegetal, manter a qualidade da água e do ar e amparar a saúde humana, portanto, a qualidade do solo é a união das propriedades biológicas, físicas e químicas, as quais capacitam o solo a desempenhar suas funções com indenidade (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009; KARLEN & RICE, 2015; DA LUZ et al., 2019).

Para o Índice Geral de Qualidade do Solo (IQS) excluiu-se a mata nativa, pois a mesma sofre um alto decréscimo de qualidade em função dos atributos químicos da mesma. Para a área de Seberi (Figura 4A), o uso do solo com maior score foi o plantio irrigado (0,77) seguido pelo plantio sequeiro (0,69). Para a área de Santo Augusto (Figura 4B), o maior score foi encontrado no plantio irrigado (0,78) seguido pelo plantio sequeiro (0,77).

Os solos cultivados não operam em sua máxima capacidade, pois nestes solos quando integrado todas as ponderações da qualidade do solo estes possuem uma qualidade física e biológica inferior a mata nativa, rebaixando o índice geral de qualidade do solo dos mesmos. Veum et al. (2014) verificaram que o solo coberto pela vegetação nativa possui atividade enzimática microbiana elevada e um elevado nível de COS, resultando em maiores pontuações na metodologia SMAF quando comparados aos ambientes de cultivo agrícola. No entanto, quando comparado os dois sistemas de cultivo,

PC e SPD, observou-se que o SPD tende a se equiparar a mata nativa em longo período de tempo.

Além da BS, a FS também contribuiu para reduzir o IQS dos solos cultivados, de maneira geral o uso do solo agrícola possui uma maior densidade e menor macroporosidade quando comparados a ambientes nativos, principalmente devido ao tráfego de máquinas utilizadas nos tratos culturais. O uso intensivo do solo ocasiona uma redução na macroporosidade do solo e aumento na densidade do solo, implicando prejuízos ao crescimento radicular, diminuição na aeração consequentemente acúmulo de gases tóxicos e redução na infiltração de água no solo, ocasionando na redução da FS quando comparados com ambientes nativos (PAUL et al., 2010; BRADY & WEIL, 2013; ROSSI et al., 2013).

Portanto, para que solos agrícolas possam atingir sua máxima capacidade de utilização se faz necessário adoção de práticas que contribuam para melhoria dos atributos biológicos e físicos. Deste modo dever ser buscadas práticas que minimizem os efeitos negativos causados pelos sistemas agrícolas, isso pode ser alcançado pelo incremento na produção de resíduos vegetais, rotação de culturas e mínimo revolvimento do solo, onde estas contribuirão aumento da atividade biológica, descompactação pelo uso de plantas de sistema radicular agressivo e isso resultará no aumento da FS e BS e consequentemente no IQS (CHERUBIN et al., 2017; DONAGEMMA et al., 2016; REICHERT et al., 2016).

5.6- CONCLUSÕES

1. O uso agrícola do solo ocasiona a redução da qualidade física e biológica do mesmo, no entanto, eleva qualidade química quando comparado ao ambiente nativo.
2. O uso agrícola do solo causa degradação da qualidade do solo, no entanto, quando este utiliza o SPD e o manejo irrigado por longo período de tempo, ocorre a elevação da qualidade do mesmo.
3. A metodologia SMAF mostrou-se uma ferramenta eficiente para quantificar as alterações na qualidade do solo nos ambientes de cultivo, irrigado e sequeiro e ambiente nativo.

5.7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Agricultura irrigada tem tudo para crescer no Brasil, mas carece de incentivos.** 2013.

ANA- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas Irrigação: Uso da água na agricultura irrigada – 2021.** Brasília: ANA, p.66, 2021.

ANA- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS & EMBRAPA. **Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil – 2014: Relatório Síntese.** Brasília: ANA, p.33, 2016.

ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.

ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L.; CAMBARDELLA, C. A. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 6, p. 1945-1962, 2004.

BEHESHTI, A.; RAIESI, F.; GOLCHIN, A. Soil properties, C fractions and their dynamics in land use conversion from native forests to croplands in northern Iran. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 148, p. 121-133, 2012.

BOROWIK, A.; WYSZKOWSKA, J. Soil moisture as a factor affecting the microbiological and biochemical activity of soil. **Plant, Soil and Environment**, v. 62, n. 6, p. 250-255, 2016.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** 3. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686p.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C.A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. Saúde do solo: Procurando por indicadores adequados. O que deve ser considerado para avaliar os efeitos do uso e manejo na saúde do solo? **Scientia Agrícola**, v.70, p.274-289, 2013.

CARNEIRO, J. S. S.; DE SOUZA, S. A.; NIKKEL, M.; DEUSDARÁ, T. T.; MACHADO, Â. F.; DA SILVA, R. R. Supercalagem: alterações em atributos químicos de um Latossolo Vermelho amarelo distrófico. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 16, n. 1, p. 31-38, 2018.

CELIK, I. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. **Soil and Tillage research**, v. 83, n. 2, p. 270-277, 2005.

CHEN, L. C.; WANG, H.; YU, X.; ZHANG, W. D.; LÜ, X. T.; WANG LONG, S. Recovery time of soil carbon pools of conversional Chinese fir plantations from broadleaved forests in subtropical regions, China. **Science of the Total Environment**, v. 587, p. 296-304, 2017.

CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S. W.; DA SILVA, R. F.; DA SILVA RODRIGUES, V.; BASSO, C. J. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 39, n. 2, p. 615-625, 2015.

CHERUBIN, M. R.; KARLEN, D.; FRANCO, A.; CERRI, C. E. A Soil Management Assessment Framework (SMAF) evaluation of Brazilian sugarcane expansion on soil quality. **Soil Science Society America Journal**, v. 80, p. 215-226, 2016.

CHERUBIN, M. R.; TORMENA, C. A.; KARLEN, D. L. Soil quality evaluation using the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in Brazilian Oxisols with contrasting texture. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, 2017.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. SBCS – NRS, f. 376, 2016.

DA LUZ, F. B.; DA SILVA, V. R.; MALLMANN, F. J. K.; PIRES, C. A. B.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; CHERUBIN, M. R. Monitoring soil quality changes in diversified agricultural cropping systems by the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 281, p. 100-110, 2019.

DAVARI, M.; GHOLAMI, L.; NABIOLLAHI, K.; HOMAEE, M.; JAFARI, H. J. Deforestation and cultivation of sparse forest impacts on soil quality (case study: West Iran, Baneh). **Soil and Tillage Research**, v. 198, p. 104504, 2020.

DE FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; DE OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; DE OLIVEIRA RODRIGUES, V. M. Atributos químicos de Latossolo Vermelho submetido a diferentes manejos. **Revista Floresta**, v. 45, p. 229-240, 2015.

DE MIRANDA, P. H. C.; MARQUES, J. D.; REIS, E. G.; DOS SANTOS, G. A. M.; SILVA JÚNIOR, M. L.; DE MELO, V. S. Atributos biológicos em diferentes sistemas de manejo do solo no município de Paragominas, Pará. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 72858-72870, 2020.

DE PAUL OBADE, V.; LAL, R. A standardized soil quality index for diverse field conditions. **Science of the total environment**, v. 541, p. 424-434, 2016.

DONAGEMMA, G. K. et al. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1003-1020, 2016.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. K. **Consequências globais do uso da terra**. Ciência. 2005.

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N. D.; O'CONNELL, C.; RAY, D. K.; WEST, P. C.; BALZER, C.; BENNETT, E. M.; CARPENTER, S. R.; HILL, J.; MONFREDA, C.; POLASKY, S.; ROCKSTRO, J.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; TILMAN, D.; ZAKS, D. P. M. Soluções para um planeta cultivado. **Natureza**. 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The State of Food Insecurity in the World 2008: High Food Prices and Food Security-Threats and Opportunities**. FAO, 2008.

FURQUIM, M. G. D.; DE OLIVEIRA, A. K.. Sustentabilidade e expansão da agricultura irrigada: um olhar para o setor no estado de Goiás. **Natural Resources**, v. 9, n. 1, p. 47-56, 2019.

HAGHIGHI, F.; GORJI, M.; SHORAFI, M. A study of the effects of land use changes on soil physical properties and organic matter. **Land Degradation & Development**, v. 21, n. 5, p. 496-502, 2010.

MENDES, I. C.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. Biological functioning of Brazilian Cerrado soils under different vegetation types. **Plant and Soil**, v. 359, p. 183-195, 2012.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. A. V.; DA COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v. 34, n. 2, p. 575-585, 2010.

KALU, S.; KOIRALA, M.; KHADKA, U. R.; ANUP, K. C. Soil quality assessment for different land use in the Panchase area of western Nepal. **International Journal of Environmental Protection**, v. 5, n. 1, p. 38-43, 2015.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society America Journal**, v.61, n.1, p.4-10, 1997.

KARLEN, D. L.; RICE, C. W. Soil Degradation: Will Humankind Ever Learn?. **Sustainability**, v.7, p.12490-12501, 2015.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo: EDUNESP, 2010.

MELO, V. F.; DA SILVA, D. T.; EVALD, A.; ROCHA, P. R. R. Qualidade química e biológica do solo em diferentes sistemas de uso em ambiente de savana. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 11, n. 2, p. 101-110, 2017.

MILLAN, E. R.; RUIZ, H. A.; FERNANDES, R. B. A.; DA COSTA, L. M. Condutividade hidráulica, porosidade, resistência mecânica e intervalo hídrico ótimo em Latossolos artificialmente compactados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 10, p. 1003-1009, 2014.

MUKHERJEE, A.; LAL, R. Comparison of soil quality index using three methods. **PloS one**, v. 9, n. 8, p. e105981, 2014.

PAUL, M.; CATTERALL, C. P.; POLLARD, P. C.; KANOWSKI, J. Recovery of soil properties and functions in diferente rainforest restoration pathways. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.259, p. 2083-2092, 2010.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias**. v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013.

PRADO, R. B.; FIDALGO, E. C. C.; MONTEIRO, J. M. G.; SCHULER, A. E.; VEZZANI, F. M.; GARCIA, J. R.; DE OLIVEIRA, A. P.; VIANA, J. H. M.; PEDREIRA, B. C. C. G.; MENDES, I. C.; REATTO, A.; PARRON, L. M.; CLEMENTE, E. P.; DONAGEMMA, G. K.; TURETTA, A. P. D.; SIMÕES, M. Current overview and potential applications of the soil ecosystem services approach in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1021-1038, 2016.

RAIESI, F.; BEHESHTI, A. Microbiological indicators of soil quality and degradation following conversion of native forests to continuous croplands. **Ecological Indicators**, v. 50, p. 173-185, 2015.

REICHERT, J. M.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J.; RODRIGUES, M. F.; SUZUKI, L. E. A. S. Land use effects on subtropical, sandy soil under sandzation/desertification processes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 233, p. 370-380, 2016.

RIETH, G. **Impactos da conversão de sistemas nativos em áreas de cultivo agrícola nos indicadores de qualidade do solo**. 2019. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen. Frederico Westphalen/RS, 2019.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Changes in soil C and N distribution assessed by natural $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$ abundance in a chronosequence of sugarcane crops managed with pre-harvest burning in a Cerrado área of Goiás, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.170, p.36-44, 2013.

SAGGAR, S.; YEATES, G. W.; SHEPHERD, T. G. Cultivation effects on soil biological properties, microfauna and organic matter dynamics in Eutric Gleysol and Gleyic Luvisol soils in New Zealand. **Soil and Tillage Research**, v. 58, n. 1-2, p. 55-68, 2001.

SAVIOZZI, A.; LEVI-MINZI, R.; CARDELLI, R.; RIFFALDI, R. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils. **Plant and soil**, v. 233, n. 2, p. 251-259, 2001.

SILVA, C. C.; GUIDO, M. L.; CEBALLOS, J. M.; MARSCH, R.; DENDOOVEN, L. Production of carbon dioxide and nitrous oxide in alkaline saline soil of Texcoco at different water contents amended with urea: A laboratory study. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 40, n. 7, p. 1813-1822, 2008.

SILVA, R. C. S.; ALMEIDA, J. C. R.; BATISTA, G. T.; FORTES NETO, P. Os indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo e da sustentabilidade dos ambientes naturais. **Repositório Eletrônico Ciências Agrárias, Coleção Ciências Ambientais**. v. 33, p. 743-755, 2011.

SOUZA, R. O. R. M.; PANTOJA, A. V.; AMARAL, M. A. C. M.; PEREIRA NETO, J. A. Cenário da agricultura irrigada no Estado do Pará. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 177-188, abr.- jun., 2012.

- SWANEPOEL, P. A.; PREEZ, C. C.; BOTHA, P. R.; SNYMAN, H. A.; HABIG, J. Assessment of tillage effects on soil quality of pastures in South Africa with indexing methods. **Soil Research**, v. 53, n. 3, p. 274-285, 2015.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Ufrgs, 1995.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA GERALDES, W. Manual de métodos de análise de solo. **Rio de Janeiro, Embrapa**. 573p, 2017.
- TRIPATHI, S.; CHAKRABORTY, A.; CHAKRABARTI, K.; BANDYOPADHYAY, B. K. Enzyme activities and microbial biomass in coastal soils of India. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 11, p. 2840-2848, 2007.
- VEUM, K. S.; GOYNE, K. W.; KREMER, R. J.; MILES, R. J.; SUDDUTH, K. A. Biological indicators of soil quality and soil organic matter characteristics in an agricultural management continuum. **Biogeochemistry**, v. 117, n. 1, p. 81-99, 2014.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUCK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.
- WALKER, T. S.; BAIS, H. P.; GROTEWOLD, E.; VIVANCO, J. M. Root exudation and rhizosphere biology. **Plant physiology**, v. 132, n. 1, p. 44-51, 2003.
- WIENHOLD, B. J.; KARLEN, D. L.; ANDREWS, S. S.; STOTT, D. E. Protocol for indicator scoring in the soil management assessment framework (SMAF). **Renewable agriculture and food systems**, p. 260-266, 2009.
- ZORNOZA, R.; ACOSTA, J. A.; BASTIDA, F.; DOMÍNGUEZ, S. G.; TOLEDO, D. M.; FAZ, A. Identificação de indicadores sensíveis para avaliar a inter-relação entre qualidade do solo, práticas de manejo e saúde humana. **Solo**, v. 1, n. 1, pág. 173-185, 2015.

6- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com encerramento deste estudo e fundado na discussão apresentada nos três artigos elabora-se as seguintes considerações finais:

As propriedades físicas do solo, artigo um, como densidade do solo é afetada pelos diferentes usos do solo, sendo que no uso do solo mata nativa foram obtidos os menores valores de densidade, seguido pelo plantio irrigado e os maiores valores encontrados no plantio sequeiro. O plantio irrigado possui potencial para minimizar os danos causados pelo tráfego de máquinas em ambientes de cultivo na densidade do solo. Para a microporosidade, macroporosidade e porosidade total apenas a mata nativa se diferiu em ambas as áreas, deste modo, demonstrando que essas variáveis não são afetadas pelas variações de manejo do solo, mas sim pelo uso do solo. De modo geral, o uso da terra com culturas anuais, acarreta em uma degradação das propriedades físicas dos solos quando comparados com ambientes nativos.

Os atributos biológicos do solo, artigo dois, a biomassa microbiana do solo não é alterada por diferentes manejos agrícolas do solo implantados em curto período de tempo, pois na área de Seberi manejos agrícolas não se diferiram entre si, somente a mata nativa. No entanto, quando utilizado a técnica de irrigação por longo período de tempo, 25 anos ou mais, há um aumento significativo da BMS-C comparado com o plantio sequeiro.

A mata nativa apresentou melhores resultados quando avaliamos a respiração basal e quociente metabólico quando comparada com os ambientes de cultivo. Quando a técnica de irrigação é implantada a curto período de tempo nota-se os efeitos da alteração do meio, onde os microrganismos necessitam se adaptar as condições deste meio, resultando em um aumento na RBS e qCO_2 . No entanto, quando analisada a área com longo período de tempo de utilização da irrigação nota-se o equilíbrio atingido no meio novamente, pois no plantio irrigado há um aumento nos valores de RBS e redução nos valores de qCO_2 .

A mudança no uso do solo de ambiente nativo para ambiente de cultivo acarreta na degradação da qualidade física e biológica do solo, no entanto, eleva a qualidade química, resultado da adubação e correção da acidez do solo.

A metodologia SMAF mostrou-se uma ferramenta eficaz para avaliar e quantificar as alterações na qualidade do solo. A utilização do sistema de plantio direto associado a

técnica de irrigação por longo período de tempo propicia a elevação da qualidade do solo, de maneira que essa seja superior ao plantio sequeiro, demonstrando que estes manejos associados possuem total condições para manter ou elevar a qualidade de Latossolos Vermelhos distróficos.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno**. 2017.

ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.

ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L.; CAMBARDELLA, C. A. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 6, p. 1945-1962, 2004.

AZEVEDO, D. M. P.; LEITE, L. F. C.; TEIXEIRA NETO, M. L.; DANTAS, J. S. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 01, p. 38-40, 2007.

BARRETO, A. C.; LIMA, F. H. S.; FREIRE, M. B. G. S.; DE ARAÚJO, Q. R.; FREIRE JOSÉ, F. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 4, 2006.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION DA CRUZ, M. A. P.; DA SILVA, A. P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 30, n. 05, p. 787-794, 2006.

BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Editora Metrópole, 2008.

BLEVINS, R. L.; FRYE, W. W. **Preparo e Conservação: uma abordagem ecológica à gestão dos solos**. Avanços em Agronomia, Universidade de Kentucky, 1993.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Bookman, 686 p., Ed. 3. 2013.

BÜNEMANN, E. K., et al. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105-125, 2018.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; DE FREITAS, D. A. F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 613-622, 2011.

CHERUBIN, M. R.; FRANCO, A. L. C.; CERRI, C. E. P.; KARLEN, D. L.; PAVINATO, P. S.; RODRIGUES, M.; DAVIES, C. A.; CERRI CARLOS, C. Phosphorus pools responses to land-use change for sugarcane expansion in weathered Brazilian soils. **Geoderma**, v. 265, p. 27-38, 2016.

CHERUBIN, M. R.; TORMENA, C. A.; KARLEN, D. L. Soil Quality Evaluation Using the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in Brazil Oxisols with Contrasting Texture. *Ver. Bras. Ciênc. Solo*. V. 41, e 0160148, 2017.

CORASSA, G. M.; SANTI, A. L.; DA SILVA, V. R.; BARON, F. A.; REIMCHE, G. B.; FIORESI, D.; DELLA FLORA, D. P. Soil chemical attributes restricting grain yield in

Oxisols under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 11, p. 1203-1212, 2018.

DALAL, R. C. Soil microbial biomass – What do the numbers really mean?. **Aust. J. Exp. Agric.** V. 38, p. 649-665, 1998.

DALAL, R. C.; CHAN, K. Y. Soil organic matter in rainfed cropping systems of the Australian cereal belt. **Aust. Journal Soil Research**, v. 39, n. 03, p. 435-464, 2001.

DA SILVA, A. P. **Biomassa microbiana em diferentes sistemas de manejo do solo e de culturas típicas da região norte de Paraná**. 2008. 67 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, 2008.

DE ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, 2007.

DE FIGUEIREDO, F. P.; OLIVEIRA, F. G.; PEREIRA, M. C. T. Efeitos de diferentes lâminas de irrigação na produtividade da bananeira prata anã cultivada no norte de Minas Gerais/Effect of different irrigation heights on the yield of banana tree, musa sp. aab, cultivated in northern Minas Gerais. **Ceres**, v. 52, n. 301, 2005.

EBELING, A. G.; DOS ANJOS, L. H. C.; PEREZ, D. V.; PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 429-439, 2008.

FAROOQ, M.; FLOWER, K. C.; JABRAN, K.; WAHID, A.; SIDDIQUE, K. H. M. Crop yield and weed management in rainfed conservation agriculture. **Soil and tillage research**, v. 117, p. 172-183, 2011.

FAVARATO, L. F.; DE SOUZA, J. L.; GALVÃO, J. C. C.; DE SOUZA CAETANO, M.; GUARÇONI, R. C. Atributos químicos do solo com diferentes plantas de cobertura em sistema de plantio direto orgânico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.5, n.2., p.19-28, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Conservation agriculture Case studies in Latin America and Africa. **FAO Soils Bulletins**, v. 78, 2001.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The State of Food Insecurity in the World 2008: High Food Prices and Food Security-Threats and Opportunities**. FAO, 2008.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. Relações entre propriedades físicas e características de solos da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 885-893, 2002.

HAILE, G. G.; ASFAW, K. K. "Irrigation in Ethiopia: A review." **Acad. J. Agric. Res** 3.10, p. 264-269, 2015.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 1, p. 4-10, 1997.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 26, n. 04, p. 857-867, 2002.

MATSUOKA, M. **Atributos biológicos de solos cultivados com videira na região da serra gaúcha**. 2006. 159 f. Tese (Doutorado em ciência do solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2006.

MILINDRO, I. F.; RODRIGUES, R. A.; SANTOS, M. K. A.; DOS SANTOS, V. B. Atributos químicos como indicadores de qualidade do solo sob manejo agroecológico. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, 2016.

MOTTER, P.; ALMEIDA, H.G. **Plantio Direto: A Tecnologia que Revolucionou a Agricultura Brasileira, 2015**. Parque Itaipu, Foz do Iguaçu, 2015.

PEREIRA, R. G.; DE ALBUQUERQUE, A. W.; CUNHA, J. L. X. L.; PAES, R. A.; CAVALCANTE, M. Atributos químicos do solo influenciados por sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 1, p. 78-84, 2009.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas do solo. **Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria**, 2006.

REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C. Biomassa microbiana do solo. **Planaltina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2007.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, p. 163-198, 2006.

RUHOFF, A.; RISSO, A.; MEIRELLES, F. S. C.; BELTRAME, L. F. S. **Cenários de uso do solo**. Cap. 4, p. 145-182, 2014.

RUSINAMHODZI, L.; CORBEELS, M.; WIJK, M. V.; RUFINIO, M. C.; NYAMANGARA, J.; GILLER, K. E. A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture practices on maize yields under rain-fed conditions. **Agron. Sustain**, pp. 657-673, 2011.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; DA ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 28, n. 05, p. 797-804, 2004.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistema de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 30, n. 06, p. 921-930, 2006.

SILVA, M. B.; KLIEMANN, H. J.; DA SILVEIRA, P. M.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 12, p. 1755-1761, 2007.

SILVA, R. R.; SILVA NAVES, M. L.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURTI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1584-1592, 2010.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 07, n. 01, p. 18-23, 2003.

SOIL QUALITY. In: Soil Management Assessment Framework. Soil Quality for environmental Health, 2011. Disponível em: <http://soilquality.org/tools/smaf_intro.html>. Acesso em 15 de setembro de 2020.

SPAGNOLLO, E. **Dinâmica da matéria orgânica em agroecossistemas submetidos a queima e manejos dos resíduos culturais**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

TIECHER, T.; MINELLA, J. P. G.; MIGUEL, P.; ALVAREZ, J. W. R.; PELLEGRINI, A.; CAPOANE, V.; CIOTTI, L. H.; SCHAEFER, G. L.; DOS SANTOS, D. R. Contribuição das fontes de sedimentos em uma bacia hidrográfica agrícola sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 639-649, 2014.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.

WARDLE, D. A.; GHANI, A. A tale of two theories, a chronosequence and a bioindicator of soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 121, p. A3-A7, 2018.