

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

Gerry Rieth

**IMPACTOS DA CONVERSÃO DE SISTEMAS NATIVOS EM ÁREAS
DE CULTIVO AGRÍCOLA NOS INDICADORES DE QUALIDADE DO
SOLO**

Frederico Westphalen, RS

2019

Gerry Rieth

**IMPACTOS DA CONVERSÃO DE SISTEMAS NATIVOS EM ÁREAS DE CULTIVO
AGRÍCOLA NOS INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO**

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

Orientador: Prof. Dr. Vanderlei Rodrigues da Silva

Frederico Westphalen, RS

2019

Rieth, Gerry

Impactos da conversão de sistemas nativos em áreas de cultivo agrícola nos indicadores de qualidade do solo / Gerry Rieth.- 2019.

79 p.; 30 cm

Orientador: Vanderlei Rodrigues da Silva

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2019

1. Propriedades físicas, químicas e biológicas 2. Mudança no uso do solo 3. SMAF I. Silva, Vanderlei Rodrigues da II. Título.

Gerry Rieth

IMPACTOS DA CONVERSÃO DE SISTEMAS NATIVOS EM ÁREAS DE CULTIVO AGRÍCOLA NOS INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO.

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

Aprovado em 23 de agosto de 2019:



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



Clovis Orlando da Ros, Dr. (UFSM/FW)



Ezequiel Koppe, Dr. (UFFS)

Frederico Westphalen, RS

2019

*À minha família, especialmente minha companheira Andrea e minha filha Bia e
a todos os amigos*

DEDICO...

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus.

A minha namorada Andrea, companheira que não mediu esforços para me auxiliar, pelo seu amor, dedicação e paciência comigo. Você foi fundamental para o desenvolvimento dessa dissertação.

A minha nova paixão, minha filha Bia, papai te ama e obrigado pela atenção para ouvir minhas argumentações sobre o trabalho.

Ao Vanderlei que foi um líder nesses dois anos, estando junto em todos os momentos da dissertação. Obrigado pela parceria, conselhos e pela confiança depositada a mim.

A toda minha família, pela paciência, compreensão da minha ausência e pelas orações.

A Universidade Federal de Santa Maria *campus* Frederico Westphalen, e todos seus colaboradores pelo suporte para realização desse trabalho.

A CAPES pela bolsa de ensino e a AGRISUS pelo suporte financeiro, obrigado por incentivar a pesquisa brasileira.

Aos professores Rodrigo e Clóvis pela disponibilidade dos laboratórios para o desenvolvimento da dissertação.

Aos técnicos de laboratórios Andrea Giovenardi, Felipe Bonini da Luz, Lucindo Somavilla, Marcela de Melo Torchelsen e Fernanda Volpato pelo auxílio nas análises laboratoriais e realizações das análises químicas.

Aos examinadores da defesa desta dissertação Clóvis e Ezequiel.

A Granja Sementes Holanda, família Busanello e ao Diego Simon por disponibilizar suas áreas para realização da pesquisa.

Aos guerreiros e guerreiras Marcos, Nádia, Djavan, Juliano César, Ezequiel, Nicolas, Jovani, Bianca, José Alcides, Ijésica, Rafael Antunes valeu parceria, companheirismo e dedicação em todas as coletas pelo Rio Grande.

A todos colegas e amigos do Laboratorio de física e de microbiologia do solo, pelo auxílio nas análises, café, "largarteada" após almoço, happy hours e celebrações.

Aos meus amigos "1992" e "Jabuticabal e cia" pela parceria e momentos de alegria.

Em especial aos meus brothers Felipe Bonini e Daniel Borba, obrigado pela ajuda no desenvolvimento de toda a dissertação, nas coletas, viagem, análises dos dados e principalmente a amizade.

Meu muito obrigado a todos!

RESUMO

IMPACTOS DA CONVERSÃO DE SISTEMAS NATIVOS EM ÁREAS DE CULTIVO AGRÍCOLA NOS INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

AUTOR: Gerry Rieth

Orientador: Vanderlei Rodrigues da Silva

A qualidade do solo (QS) é influenciada pelas suas propriedades físicas, químicas e biológicas e sua quantificação é necessária para compreender a influência das diferentes práticas de manejo do solo realizadas na conversão de ambientes naturais para usos agrônômicos. As alterações nestas propriedades do solo são verificadas pelos índices de qualidade do solo. Os objetivos deste trabalho foram (i) avaliar alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo em seus diferentes usos; (ii) determinar os efeitos no solo pela mudança de uso nas regiões de expansão do cultivo da soja; (iii) e promover o uso e validar a metodologia do *Soil Management Assessment Framework* – SMAF para verificar as alterações no uso do solo na qualidade do solo. A hipótese que permeia é de que o SMAF detecta alterações na qualidade do solo ocasionadas pela mudança no uso do solo em regiões no Rio Grande do Sul. Para tanto, o estudo foi realizado em regiões de expansão da soja no Rio Grande do Sul. Os solos e seus usos analisados foram Latossolo Vermelho distroférico, Latossolo Vermelho distrófico nos usos do solo mata nativa (MN), pastagem nativa (PN), pastagem cultivada (PC), soja (SO) e no Argissolo Vermelho distrófico para usos do solo de PN, PC e SO. Foram coletadas amostras físicas e químicas nas camadas 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m e biológicas na camada 0,00-0,10 m. Em loco, realizado a avaliação da estrutura do solo pela metodologia do VESS (*Visual Evaluation of Soil Structure*). A QS foi quantificada pela metodologia do SMAF, incluindo as propriedades pH, fósforo (P), potássio (K), densidade do solo (Ds) e carbono da biomassa microbiana (CBM). Foram submetidos ao teste da Anova e, quando significativos, ao teste de t de Student ($p < 0,05$) para verificação da influência do uso do solo sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas em cada região e análise dos índices de qualidade do solo. As práticas de manejo do solo da SO e PC afetaram negativamente as propriedades físicas do solo e favoreceram as propriedades químicas. A mata nativa obteve QS superior aos demais usos do solo no Latossolo Vermelho distroférico e distrófico. A conversão de PN para PC e SO reduz a QS para 65% no Argissolo Vermelho distrófico. O SMAF detectou alterações na QS pela conversão do uso do solo, sendo uma promissora ferramenta para análises da QS em solos do Rio Grande do Sul.

Palavras-chaves: Propriedades físicas, químicas e biológicas. Mudança do uso do solo. SMAF.

ABSTRACT

IMPACTS OF CONVERSION OF NATIVE SYSTEMS ON AGRICULTURAL CROP AREAS ON SOIL QUALITY INDICATORS

AUTHOR: Gerry Rieth

ADVISOR: Vanderlei Rodrigues da Silva

Soil quality (SQ) is influenced by its physical, chemical and biological properties and its quantification is necessary to understand the influence of different soil management practices performed on the conversion of natural environments for agronomic uses. Changes in these soil properties are verified by soil quality indices. The objectives of this work were (i) to evaluate changes in the physical, chemical and biological properties of the soil in its different uses; (ii) determine the effects on the ground for the change of use in expanding regions of soybean cultivation; (iii) and promote the use and validation of the Soil Management Assessment Framework (SMAF) methodology to verify changes in land use in soil quality. The underlying hypothesis is that SMAF detects changes in soil quality caused by changes in land use in regions of Rio Grande do Sul. Therefore, the study was conducted in soybean expansion regions in Rio Grande do Sul. The soils and their uses analyzed were Rhodic Eutrudox, Typic Acrustox for native forest (NF), native pasture (NP), cultivated pasture (CP), soybean (SO) and Paleudalf for soil uses. NP, CP and SO. Physical and chemical samples were collected in the layers 0.0-0.10; 0.10-0.20 and 0.20-0.30 m and biological in the 0.00-0.10 m layer. In loco, the evaluation of the soil structure was carried out by the VESS (Visual Evaluation of Soil Structure) methodology. The SQ was quantified by the SMAF methodology, including the attributes pH, phosphorus (P), potassium, soil density and carbon of the microbial biomass (CMB). They were submitted to the Anova test and, when significant, the Student's t test ($p < 0.05$) to verify the influence of land use on the physical, chemical and biological properties in each region and analysis of soil quality indices. SO and CP soil management practices negatively affected soil physical properties and favored chemical properties. Native forest obtained higher SQ than other soil uses in the Rhodic Eutrudox and Typic Acrustox. Converting NP to CP and SO reduces SQ to 65% in Paleudalf. The SMAF detected changes in QS by land use conversion, being a promising tool for QS analysis in soils of Rio Grande do Sul.

Keywords: Physical properties, chemical, biological. Use of the soil. SMAF.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura e etapas na geração do índice de qualidade do solo pelo SMAF.	22
Figura 2- Municípios do COREDE Rio da Várzea	24
Figura 3 - Histórico da mudança do uso do solo do município de Boa Vista das Missões, RS.	25
Figura 4 - Municípios do COREDE Central.	25
Figura 5 - Histórico da mudança do uso do solo do município de Júlio de Castilho, RS.	26
Figura 6 - Municípios do COREDE Vale do Jaguari.	26
Figura 7 - Histórico da mudança do uso do solo do município de Cacequi, RS.	27
Figura 8 - Imagens das estruturas do solo avaliadas e os score médios da avaliação da estrutura do solo (VESS) sobre diferentes usos do solo.	37
Figura 9 - Carbono da biomassa microbiana em função dos usos do solo MN (mata nativa), PN (pastagem nativa), PC (pastagem cultivada) e SO (soja).	38
Figura 10 – Respiração basal do solo nos diferentes usos do solo MN (mata nativa), PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada) e SO (soja).	39
Figura 11 – Quociente metabólico de acordo com os usos do solo MN (mata nativa), PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada) e SO (soja).	39
Figura 12 – Imagens das estruturas do solo avaliadas e os scores médios da avaliação da estrutura do solo (VESS) sobre diferentes usos do solo.	47
Figura 13 - Carbono da biomassa microbiana em diferentes manejos do solo MN (mata nativa), PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada) e SO (soja).	48
Figura 14 – Respiração basal do solo sob diferentes usos do solo MN (mata nativa), PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada) e SO (soja).	49
Figura 15 – Quociente metabólico em função dos usos do solo MN (mata nativa), PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada) e SO (soja).	50
Figura 16 - Imagens das estruturas do solo avaliadas e os score médios da avaliação da estrutura do solo (VESS) sobre diferentes usos do solo.	58
Figura 17 - Influência do Carbono da Biomassa Microbiana nos usos do solo PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada) e SO (soja).	59
Figura 18 - Influência da respiração basal do solo sobre usos do solo PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada) e SO (soja).	59
Figura 19 - Influência da quociente metabólico usos do solo PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada) e SO (soja).	60

Figura 20 – Contribuição ponderada das propriedades do solo (A) e o índice de qualidade do solo (B), nos usos do solo MN (mata nativa), PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada), SO (soja) do Latossolo Vermelho distroférico.	63
Figura 21 - Contribuição ponderada das propriedades do solo (A) e o índice de qualidade do solo (B) nos usos do solo MN (mata nativa), PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada), SO (soja) do Latossolo Vermelho distrófico.....	66
Figura 22 - Contribuição ponderada das propriedades do solo e o índice de qualidade do solo nos usos do solo PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada), SO (soja) do Argissolo Vermelho distrófico.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição detalhada dos usos dos solos nas diferentes ordens de solo analisadas do Rio Grande do Sul. Textura do solo e densidade de partícula da camada 0,10-0,20 m....	27
Tabela 2 - Algoritmos de interpretação dos indicadores de qualidade do solo; pH (pH), P (mg dm ⁻³), K (mg dm ⁻³), CBM (mg kg ⁻¹) e Ds (Mg m ⁻³).	32
Tabela 3 - Propriedades físicas do solo densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (Micro) e macroporosidade (Macro) influenciadas pelos usos do solo nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.....	36
Tabela 4 - Valores de acidez do solo e CTC nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, sobre diferentes usos do solo mata nativa (MN), pastagem natural (PN), pastagem cultivada (PC) e soja (SO).....	41
Tabela 5 – Teor de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em diferentes usos do solo em um Latossolo Vermelho distroférico.....	42
Tabela 6 – Propriedades físicas densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (Micro) e macroporosidade (Macro) influenciados pelos usos do solo nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.....	45
Tabela 7 - Valores de acidez do solo e CTC nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, sobre diferentes usos do solo mata nativa (MN), pastagem natural (PN), pastagem cultivada (PC) e soja (SO).....	52
Tabela 8 – Taxa de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em diferentes usos do solo do Latossolo Vermelho distrófico.	53
Tabela 9 – Propriedades físicas do solo densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (Micro) e macroporosidade (Macro) influenciados pelos usos do solo nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.....	57
Tabela 10 – Valores de acidez do solo e CTC nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, sobre diferentes usos do solo pastagem natural (PN), pastagem cultivada (PC) e soja (SO).....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 11 – Teor de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em diferentes usos do solo.....	63

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 EXPANSÃO DA SOJA NO RIO GRANDE DO SUL	15
2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	15
2.3 PROPRIEDADES BIOLÓGICAS DO SOLO	17
2.4 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO	19
2.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO PELO SMAF	20
3. METODOLOGIA	24
3.1 LOCAIS	24
3.2 ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO	28
3.3 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO	29
3.4 ANÁLISES BIOLÓGICAS DO SOLO	30
3.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO	30
3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO	35
4.1.1 Propriedades físicas do solo	35
4.1.2 Propriedades biológicas do solo	37
4.1.3 Propriedades químicas do solo	40
4.1.4 Considerações finais Latossolo Vermelho distroférico	43
4.2 LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO	44
4.2.1 Propriedades físicas do solo	44
4.2.2 Propriedades biológicas do solo	48
4.2.3 Propriedades químicas do solo	51
4.2.4 Considerações finais Latossolo Vermelho distrófico	55
4.3 ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO	55
4.3.1 Propriedades físicas do solo	55
4.3.2 Propriedades biológicas do solo	58
4.3.3 Propriedades químicas do solo	61
4.3.4 Considerações finais Argissolo Vermelho distrófico	63
4.4 INDICES DE QUALIDADE DO SOLO	64
5 CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS	70

1. INTRODUÇÃO

O solo é a base para o desenvolvimento das culturas, sendo fonte e reserva de nutrientes, armazenamento de água, suporte para o crescimento das plantas e ciclagem de elementos químicos (BRADY & WEIL, 2013). Sua multifuncionalidade faz com que seja analisado tanto da perspectiva do agroecossistema quanto do ecossistema natural. Se por um lado, a perspectiva é baseada na produtividade, de outro, o foco está na manutenção da qualidade ambiental e na conservação da biodiversidade (BÜNEMANN et al., 2018).

A atividade agrícola é baseada na mudança de um ecossistema natural para criar um novo habitat favorável ao crescimento de plantas e animais, onde os recursos naturais, como o solo, são modificados para explorar a máxima capacidade produtiva em longo prazo (FAO, 2001).

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, que é a principal cultura do país. O estado do Rio Grande do Sul é um dos principais produtores de soja, e desde a sua implantação a atividade se manteve em expansão, o que se deve pela importância econômica da cultura. Na atual década a expansão está concentrada na região sul do estado, na substituição de vegetação nativa composta por pradarias e convertida para o cultivo da soja, na maioria das vezes em solos mais suscetíveis à degradação (*i.e* arenosos) (DONAGEMMA et al., 2016; STECK et al., 2018).

O monitoramento da qualidade do solo em área de expansão agrícolas são essenciais, por causa das perturbações ocorridas no solo na substituição do seu uso e pelo fato que o solo é um recurso limitado. A complexidade do funcionamento do solo é praticamente impossível detectar diretamente sua qualidade devido a inúmeras relações entre as propriedades do solo e ao manejo adotado no sistema de uso do solo (BÜNEMANN et al., 2018). A maioria das pesquisas em relação à qualidade do solo está centrada na identificação de um índice capaz de servir como indicador universal capaz de identificar alterações nas propriedades do solo em relação ao manejo (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009).

Dentre as diversas ferramentas disponíveis na literatura para avaliar a qualidade do solo, destaca-se a *Soil Management Assessment Framework* (SMAF) descrita por Andrews et al. (2004). Este modelo *framework* contém uma lista de indicadores, integrando as propriedades biológicas, físicas e químicas, que podem ser usadas para avaliar a qualidade do solo, podendo, desta forma, auxiliar agricultores, gestores de terras ou mesmo políticos na tomada de decisões referentes às práticas de uso e manejo do solo que visem proteção e conservação do mesmo (CHERUBIN et al., 2017).

A conversão do uso do solo, especialmente em áreas suscetíveis à degradação, aliada às técnicas de manejo adotadas pelos agricultores, pode afetar diretamente a qualidade do solo (STRECK et al., 2018). Sendo assim, a qualidade do solo é um indicador da sustentabilidade do solo (DORAN & ZEISS, 2000) influenciada pelo uso e manejo. Desta forma, a hipótese que permeia este estudo é de que o SMAF detecta alterações na qualidade do solo ocasionadas pela mudança no uso do solo em regiões no Rio Grande do Sul.

Portanto o presente trabalho teve como objetivo (i) avaliar alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo em seus diferentes usos; (ii) determinar os efeitos no solo pela mudança de uso nas regiões de expansão do cultivo da soja; (iii) e promover o uso e validar a metodologia do *Soil Management Assessment Framework* – SMAF para verificar as alterações no uso do solo na qualidade do solo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EXPANSÃO DA SOJA NO RIO GRANDE DO SUL

A cultura da soja foi introduzida no estado comercialmente na década de 40, na região norte do estado, sendo que na década de 60 se generalizou em todo o estado, se tornando, ao passar dos anos, a principal cultura agrônômica do Rio Grande do Sul (CONCEIÇÃO, 1984). O crescimento da área cultivada no Rio Grande do Sul ainda ocorre atualmente, sendo que na safra 2016/7 para 2017/8 o aumento de área cultivada foi de 2,2% chegando a 5,69 milhões de hectares com cultivo da soja, com produtividade média de 3.013 kg ha⁻¹. Se tornou o estado da região sul com maior área cultivada e um dos maiores produtores de soja do país (DOMINGUES et al., 2012; CONAB, 2018).

A expansão atual está localizada na região centro-sul do estado, na mudança do uso do solo ocupados por pastagem e pelo cultivo de arroz para produção de soja. Esta representação chega a aumentar mais de 500% da área com cultivo do grão nos municípios dessa região. A mudança do uso do solo está ocorrendo principalmente pelo maior ganho econômico em relação as atividades de pecuária e do arroz, pela consolidação da cultura, e por serem locais com terras de menor valor que nas demais regiões do estado. Porém esses solos necessitam monitoramento na mudança do uso do solo por serem solos sedimentares, de textura franca arenosa ou arenosa, podendo ocorrer degradação do solo, intensificar a aerização, a erosão e diminuir a capacidade produtiva desses solos (STRECK et al., 2018).

Os impactos no solo da mudança de seu uso podem comprometer a sua qualidade e reduzir a produtividade da cultura da soja em escala maior do que nas áreas tradicionais de cultivos, que estão localizadas em solos menos suscetíveis à degradação. Essa mudança ocorre pelo estímulo de maior retorno econômico que a cultura da soja produz em relação à pecuária e ao desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições climáticas. Para não perder a qualidade do solo dessas regiões é indicado modificar as práticas de manejo do solo para conservar e beneficiar suas propriedades físicas, químicas e biológicas (KARLEN & RICE, 2015).

2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

A qualidade do solo em ponto de vista físico, está relacionada àquele solo que: a) permite a infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas, córregos e subsuperfície;

b) responde ao manejo e resiste à degradação; c) permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas; e d) possibilita o crescimento das raízes (REICHERT, REINERT e BRAIDA, 2003).

A qualidade física do solo está relacionada diretamente à sua utilização e ao cultivo ao qual o solo é submetido (CRUZ et al., 2018). Atividades agrícolas influenciam nas propriedades físicas, podendo tornar o solo com condições desfavoráveis ao crescimento vegetal (CALONEGO et al., 2012). Por outro lado, solos fisicamente preservados modificam as demais propriedades do mesmo, fazendo com que, uma vez que ocorram melhorias nas propriedades físicas, possa haver melhorias diretamente nas químicas e biológicas deste solo (ARAÚJO et al., 2007).

Entre as propriedades selecionadas para avaliar a qualidade física do solo, destaca-se a densidade do solo (D_s), a porosidade total (P_t) e os macroporos podem caracterizar o estado de compactação de um solo e são influenciados pelas alterações do manejo do solo (ALMEIDA et al. 2016). Essas propriedades físicas têm valores de referência para os principais tipos de solos, são utilizados para interpretação dos resultados referente à gestão do solo (BÜNEMANN et al., 2018)

A densidade e a porosidade do solo servem de indicadores de compactação, afetando sua aeração, condutividade hidráulica, permeabilidade, infiltração da água, fluxo de nutrientes, crescimento das raízes (REICHERT, REINERT e BRAIDA, 2003).

Stefanoiki et al. (2013) refere-se ao preparo do solo como, provavelmente, a atividade que proporciona maior influência sobre as propriedades físicas do solo, afetando diretamente sua estrutura. Em pastagens, a compactação causada pelo pisoteio dos animais resulta em uma redução da produtividade e reduz sua vida útil. Os autores ainda relatam, que a alta pressão contribui para o aumento da densidade e diminui a porosidade do solo, havendo, assim, condição inadequada para o crescimento das plantas. Em lavouras, a qualidade estrutural do solo pode ser afetada pelo sistema de plantio adotado, como na alteração provocada pelo intenso tráfego de máquinas, originando aumento na compactação (COLLARES et al., 2006; MORAES et al., 2014).

Avaliar e monitorar o processo de compactação do solo é fator chave para avaliação da qualidade do solo (QS), pois a estrutura do solo é sensível às práticas de manejo adotadas. Logo, avaliar esse componente se torna fundamental para uma agricultura sustentável em áreas de expansão e mudança no uso do solo (STEFANOSKI et al., 2013). Dentre os métodos de avaliação da estrutura do solo, um método direto, fácil e quantitativo sensível (*i.e* VESS) tem sido utilizado no Brasil, na avaliação de práticas de manejo do solo (GUIMARÃES et al.,

2011; TUCHTENHAGEM et al., 2018) e no monitoramento da mudança do uso do solo (CHERUBIN et al., 2016).

O VESS (*Visual Evaluation of Soil Structure*) “avaliação visual da estrutura do solo” descrito por Ball et al. (2007) e aperfeiçoado por Guimarães et al. (2011) para sua aplicação em solos brasileiros tem demonstrado ser eficaz na avaliação da estrutura do solo em diferentes texturas (CHERUBIN et al., 2017), usos (CHERUBIN et al., 2017; TUCHTENHAGEN et al., 2018) e manejo (GIAROLA et al., 2013; MUNKHOLM et al., 2013). O VESS fornece uma primeira avaliação da qualidade geral do solo e é confiável para indicar a qualidade da estrutura do solo induzido pela mudança do uso do solo (CHERUBIN et al., 2017; TUCHTENHAGEN et al., 2018).

2.3 PROPRIEDADES BIOLÓGICAS DO SOLO

As propriedades biológicas do solo são indicadores sensíveis a mudanças do uso do solo, sendo influenciado pelas culturas de coberturas, manejo do solo e épocas de amostragem (SILVA et al., 2007). A manutenção ou o incremento da quantidade de organismos no solo, beneficia a qualidade biológica do solo (MATSUOKA, 2006). Essa quantidade é influenciada pelos fatores físicos (Ex. Umidade) e características químicas do solo (Ex. acidez, nutrientes) (BRADY & WEIL, 2013).

Os microrganismos do solo têm alto potencial para avaliação da qualidade do solo por terem características de atividade bioquímica metabólica e interferir nos processos ecológicos e proporcionar respostas mais rápidas a mudanças no ambiente. Os principais indicadores desta propriedade são a biomassa microbiana do solo, a respiração basal e o quociente do solo (ARAÚJO & MONTEIRO, 2007).

A biomassa microbiana do solo controla a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica do solo e regula a ciclagem de nutrientes no solo (ROSCOE et al., 2006; MARCHIORI JUNIOR & MELO, 2000). A sensibilidade de sua modificação em relação a outras propriedades do solo (REIS JUNIOR & MENDES, 2007) é benéfica para monitoramento da qualidade do solo em práticas de uso da terra (DALAL, 1998), pois detecta com antecedência, distúrbios na comunidade microbiana do solo (REIS JÚNIOR & MELO, 2000). Identificando alteração na comunidade microbiana podem-se adotar medidas de correções para evitar a perda de matéria orgânica, essencial para a fertilidade dos solos brasileiros (ROSCOE et al., 2006).

O carbono da biomassa microbiana menciona o potencial metabólico da comunidade microbiana do solo, sendo a parte viva da matéria orgânica do solo, representando 2 a 5 % do carbono orgânico em solos tropicais. Porém, maior parte do material orgânico que sofre decomposição e liberação de nutrientes para o solo é devida a ação dos microrganismos (DA SILVA, 2008).

A quantidade de argila no solo influencia os valores do carbono da biomassa microbiana, tendo uma relação linear, quanto maior a quantidade de argila do solo, maior o carbono da biomassa microbiana (DALAL, 1998; DA SILVA, 2008). A argila protege os microrganismos contra a biodegradação e auxilia na adsorção de compostos orgânicos, aumentando a quantidade de substratos para o metabolismo dos microrganismos (DALAL, 1998). O carbono da biomassa microbiana é mais sensível às alterações na matéria orgânica do solo do que o carbono orgânico do solo, respondendo às mudanças nos sistemas de manejo do solo e à conversão do uso do solo (D'ANDREA et al., 2002; ROSCOE et al., 2006; CHERUBIN et al., 2015a; OLIVEIRA et al., 2016; NAVROSKI et al., 2018).

A atividade metabólica da biomassa microbiana é expressa pela respiração basal e pelo quociente metabólico (qCO_2) (SILVA et al., 2010). O estado metabólico das comunidades microbianas é importante a fim de analisar e entender se o ambiente está favorável ou em distúrbio, podendo estar perdendo carbono para atmosfera (REIS JUNIOR & MENDES, 2007).

A determinação da respiração basal do solo (RBS) é a soma total de todas as funções metabólicas que envolvem o CO_2 produzido. A RBS possui uma estreita relação com condições do solo, tais como umidade, temperatura e aeração (SILVA et al., 2007). A avaliação da respiração basal deve-se ter conhecimento do sistema de uso em que o solo está submetida. Uma taxa alta de respiração basal do solo pode mostrar uma comunidade microbiana ineficiente (ANDERSON & DOMSCH, 2010), com decomposição da matéria orgânica do solo comprometendo processos químicos e físicos do mesmo. Entretanto, a mesma taxa de respiração também pode ser entendida como uma característica desejável, onde é considerada a decomposição dos resíduos orgânicos, disponibilizando nutrientes para as plantas (REIS JUNIOR & MENDES, 2007). Nestas situações deve-se considerar em qual sistema de uso do solo a atividade está inserida.

O quociente metabólico é a razão entre a RBS e o CBM, retratando a respiração específica da biomassa microbiana, o quanto de CO_2 a biomassa microbiana libera relativa ao tempo ao qual é submetida (ALVES et al., 2011). É benéfico o acúmulo de carbono nos tecidos microbianos, resultando no aumento do carbono da biomassa microbiana e

diminuindo o qCO_2 e a perda de carbono pela respiração dos microrganismos (REIS JUNIOR & MENDES, 2007). Demonstrando a eficiência da utilização dos compostos orgânicos pela população microbiana do solo (SILVA et al., 2007). Esta propriedade representa um sensível indicador de eficiência da biomassa microbiana.

Valores altos de qCO_2 representam que os microrganismos estão gastando mais energia para manutenção da comunidade microbiana, isto é, estão utilizando o carbono de suas células para sua manutenção (REIS JUNIOR & MENDES, 2007), gastando mais energia e perdendo C para atmosfera (ISLAM & WEIL, 2000) sendo o reflexo da ineficiência energética da biomassa microbiana do solo (WARDLE & GHANI, 2018). Por outro lado, estes valores podem ser um indicativo de comunidades microbianas em estágios iniciais de desenvolvimento (ROSCOE et al., 2006). Portanto, na avaliação do quociente metabólico, é importante considerar o histórico de uso do solo.

2.4 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

As propriedades químicas dos solos são comprometedoramente modificadas segundo a vegetação presente, ou a introdução de novos cultivos e são os fatores que de forma mais rápida são afetados por processos de degradação do solo. As alterações nos indicadores químicos resultam do desenvolvimento dos sistemas, ocorrendo em função da condução de cada tipo de uso e manejo do solo no intermédio do tempo (MILINDRO et al., 2016). Uma mesma área com cultivo ou não, em diferentes sistemas de manejo, com tempo de cultivo distintos, dependendo da forma de exportação agrícola, vai apresentar variações nas suas propriedades químicas (SPAGNOLLO, 2004).

A qualidade química do solo refere-se ao armazenamento e disponibilidade de nutrientes às plantas e à produtividade do solo. As principais modificações nos solos que podem indicar a sua qualidade química são o pH, o alumínio trocável, CTC, saturação por bases e os indicadores de conteúdo de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e P (CARDOSO et al., 2011). Estes elementos juntos podem ser úteis na indicação das necessidades nutricionais das plantas e na contaminação e poluição do solo, enfim, na qualidade química do solo.

De forma geral, a acidez do solo é o principal limitante de produtividade dos cultivos agrícolas em solos tropicais e subtropicais (BARRETO et al., 2006; BISSANI et al., 2008; CHERUBIN et al., 2016; MELO & ALLEONI, 2016; CORASSA et al., 2018). A ação antrópica, com a utilização de adubos nitrogenados, adubos orgânicos e a exportação de cátions básicos pelos cultivos, acidificam o solo necessitando de adições de corretivos para

tornar o solo agriculturável. O desenvolvimento de vegetações nativas (mata nativa, campo nativo) nessas características naturais desfavoráveis de solo só ocorre pelo processo longo de adaptação das plantas, com o acúmulo material orgânico e ciclagem de nutrientes (MELO & ALLEONI, 2016).

O conhecimento relacionado à quantidade de nutrientes como P, K, Mg e Ca, entre outros, é base para verificar a necessidade de adubação e/ou seleção de cultivares. A disponibilidade destes nutrientes assim como a CTC, demonstram se o solo, considerando suas reservas, poderá suprir as necessidades nutricionais das plantas (BISSANI et al, 2008).

Por sua vez, a fertilidade pode ser conceituada como a capacidade que o solo tem de fornecer elementos essenciais às plantas. A avaliação da fertilidade química refere-se à manutenção ou à recuperação da produtividade de um solo (RONQUIM, 2010). Solo fértil é aquele que tem quantidade e proporção de nutrientes minerais adequados para o crescimento das plantas. (BRADY & WEIL, 2013). A maioria dos solos do estado do RS possuem baixa fertilidade natural, necessitando de adubação complementar para suprir a demanda dos nutrientes necessários para atender a capacidade produtiva das culturas (BISSANI et al., 2008).

Nesta situação a aplicação de proporções adequadas de insumos para suprir a baixa fertilidade dos solos é essencial para um bom manejo e obtenção de produção mais rentável (RONQUIM, 2010). O tipo de uso da terra influencia as propriedades químicas do solo. Spanollo (2004) em seu trabalho afirma que mudanças no uso do solo diminui a qualidade do solo, considerando o cultivo em áreas anteriormente ocupadas por vegetação nativa. Devido ao manejo do solo necessário pelos diferentes usos da terra serem distintos, ocorre a alteração da dinâmica dos nutrientes, o que afeta as propriedades químicas do solo de diferentes maneiras (SANTI, 2007; JAKELAITIS et al. 2008; NICOLODI, ANGHINONO & GIANELLO, 2008; CHERUBIN et al., 2015a; CHERUBIN et al., 2015b; LUZ, 2017; YU et al., 2018).

2.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO PELO SMAF

O termo Qualidade do solo (QS) começou a ser discutido arduamente após publicação do livro *Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture* pela *Academy of Sciences* em 1993 (NATIONAL RESSERCH CONUNCIL, 1993), que apresentava conceitos e discussões sobre o assunto. Nele, conceituam-se as funções do solo desempenhadas nos ecossistemas naturais e agroecológicos, relatando que estas vão além de promover o crescimento das

plantas, podendo ter impactos na produtividade agrícola e na qualidade da água e do clima global.

A qualidade do solo é determinada por uma combinação de propriedades físicas, químicas e biológicas (NATIONAL RESSERCH CONUNCIL, 1993). Ela é definida 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). Esta definição vem sendo utilizada pela sociedade acadêmica até os dias atuais em trabalhos com ênfase em qualidade do solo (MATSUOKA, 2006; ARAÚJO & MONTEIRO, 2007; VEZZANI & MIELNICZUK, 2009; CHERUBIN et al., 2015b; SILVA, 2018; BÜNEMANN et al., 2018).

Para melhor entendimento da dinâmica que envolve a qualidade de um solo é necessário analisar as propriedades físicas, químicas e biológicas que regem o seu funcionamento, incluindo as peculiaridades do sistema de manejo adotado. Identificar alterações na mudança da qualidade, por meio da interação das propriedades físicas, químicas e biológicas (KARLEY, 1993; DORAN & PARKIN, 1994; ARAUJO, 2007; SANTI, 2007; VEZZANI & MIELNICZUK, 2009; CHERUBIN et al., 2015a; YU et al., 2018) é fundamental para manter ou melhorar a sustentabilidade do sistema agrícola (CHERUBIN et al., 2015a).

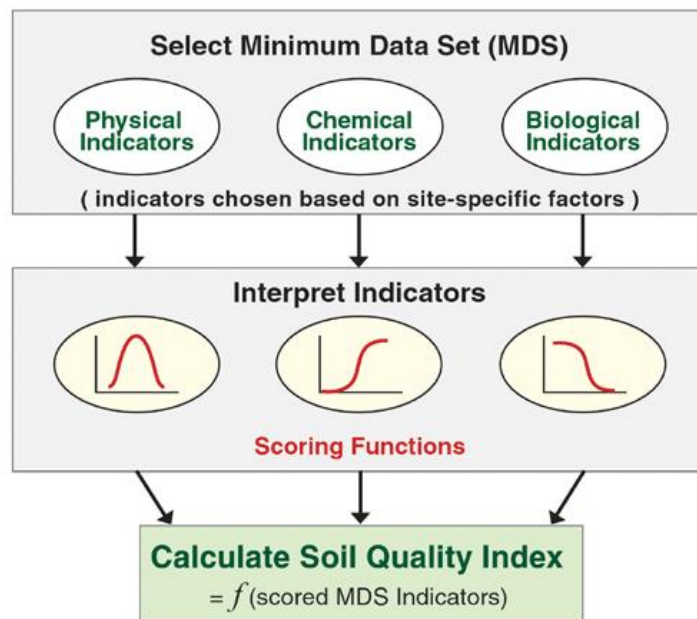
A avaliação da qualidade do solo pelo SMAF é baseada em três etapas (Figura 1). Na primeira etapa são selecionados indicadores que compõe um conjunto mínimo de dados, compreendendo propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Sendo recomendada a seleção de no mínimo quatro dos 13 indicadores disponíveis e pelo menos um de cada propriedade do solo para maximizar a flexibilidade e acessibilidade (ANDREWS et al., 2004). Os indicadores físicos presente no SMAF são a densidade do solo, a estabilidade macroagregada, a água disponível e a curva de retenção de água. Os indicadores químicos são o pH, a condutividade elétrica e os teores de potássio, fósforo e sódio. Os indicadores biológicos são a atividade da β -glucosidase, o carbono da biomassa microbiana, o carbono orgânico total e o nitrogênio potencialmente mineralizável (ANDREWS et al., 2004; WIENHOLD et al., 2009; CHERUBIN et al., 2016).

Na segunda etapa, ocorre a interpretação dos indicadores através das curvas de pontuações, quando os valores medidos das propriedades do solo expressos em diferentes unidades são transformados em valores (*scores*) variando de 0 a 1, usando algoritmos presente na planilha de cálculos da SMAF. As curvas de pontuações de cada indicador tem sua forma

definida em relação das funções e características do solo. Conhecidas como “ponto ótimo”, “maior melhor” e “menor melhor” (Figura 1). A curva de “ponto ótimo” são para pH e fósforo; “maior melhor” para estabilidade macroagregado, água disponível, atividade da β -glucosidase, potássio, carbono da biomassa microbiana, nitrogênio potencialmente mineralizável e, carbono orgânico total; e “menor melhor” para os indicador de densidade do solo, condutividade elétrica, teor de sódio e curva de retenção de água (ANDREWS et al., 2004).

E, por fim, na etapa três é realizada a integração dos indicadores em um índice de qualidade do solo. A seleção de indicadores do solo apropriados é, geralmente, mais fácil de apontar do que os dados para medir diretamente a função no solo. Informações acerca da caracterização do solo, histórico de culturas e clima, podem inserir com precisão os efeitos de manejo sobre a função do solo (ANDREWS et al., 2004; WIENHOLD et al., 2009; CHERUBIN et al., 2016; CHERUBIN et al., 2017).

Figura 1 - Estrutura e etapas na geração do índice de qualidade do solo pelo SMAF.



Fonte: Soil Quality, 2011.

Esta função interpretativa do SMAF pode permitir que os usuários sem treinamento intensivo de solo utilizem dados de teste de solo mais efetivamente do que atualmente é possível. A parte de integração da ferramenta também pode ser útil para os cientistas interpretando conjuntos de dados complexos com tendências conflitantes ou contraditórias (ANDREWS et al., 2004).

O SMAF foi aplicado inicialmente no Brasil por Cherubin et al. (2016), em estudos na região centro-sul do país com objetivo de verificar se os algoritmos do SMAF são perceptíveis às alterações na qualidade do solo em áreas de expansão da cana-de-açúcar. Os resultados foram promissores, demonstrando que esta ferramenta pode ser usada para avaliar a qualidade dos solos brasileiros, ajudando agricultores, gestores de terras e políticos a tomar melhores decisões sobre práticas sustentáveis de uso da terra. O mesmo autor desenvolveu outro trabalho (CHERUBIN et al, 2017) demonstrando dados que viabilizam o framework como ferramenta de avaliação de qualidade do solo nas propriedades do solo brasileiras.

Mais recentemente Lisboa et al. (2019) utilizaram a ferramenta para investigar os efeitos da remoção da palha de cana-de-açúcar, e Luz et al. (2019) utilizaram as diretrizes do SMAF para avaliação do efeito da mudança do uso da terra (mata nativa, pastagem, cana-de-açúcar, planto direto, integração lavoura-pecuária) na qualidade do solo. Os estudos realizados no Brasil com os algoritmos do *Framework* foram promissores para a utilização dessa ferramenta, principalmente pela sensibilidade apresentada para detectar alterações na qualidade do solo pelo manejo adotado.

3. METODOLOGIA

3.1 LOCAIS

O estudo foi realizado em áreas de expansão da soja no Rio Grande do Sul, compondo a região tradicional do cultivo até regiões com cultivo mais recente. O histórico da propriedade e a presença de diferentes usos do solo teve importância relevante para a seleção dos locais

Os tipos de solos selecionados para realização do trabalho estão localizados em municípios de diferentes regiões do Conselho Regional de Desenvolvimento (COREDE) que têm função de desenvolver a região e estimular a permanência da população na sua região, bem como a preservação e recuperação do meio ambiente (ATLAS SOCIOECONÔMICO RIO GRANDE DO SUL, 2019). A localização e os tipos de solos compreendidos neste trabalho foram:

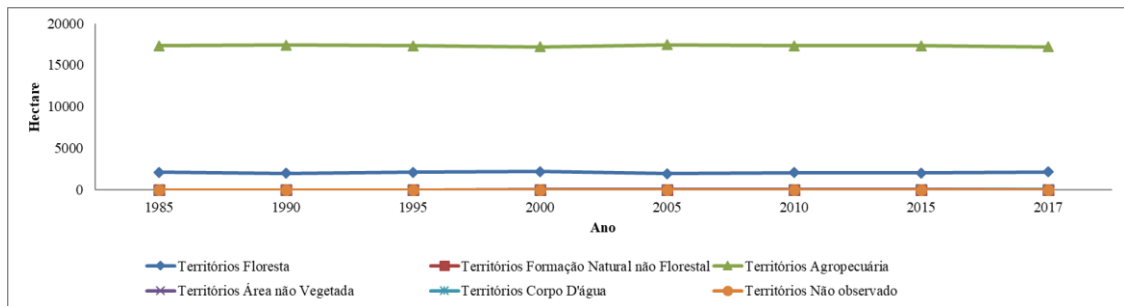
I- Latossolo Vermelho distroférico (CUNHA et al., 2009), localizado no município de Boa Vista das Missões. O município está inserido no COREDE Rio da Várzea (Figura 2), sendo uma região tradicional do cultivo da soja no Rio Grande do Sul, com áreas de expansão agrícola já consolidadas (Figura 3).

Figura 2- Municípios do COREDE Rio da Várzea



Fonte: (RIO GRANDE DO SUL, 2015b)

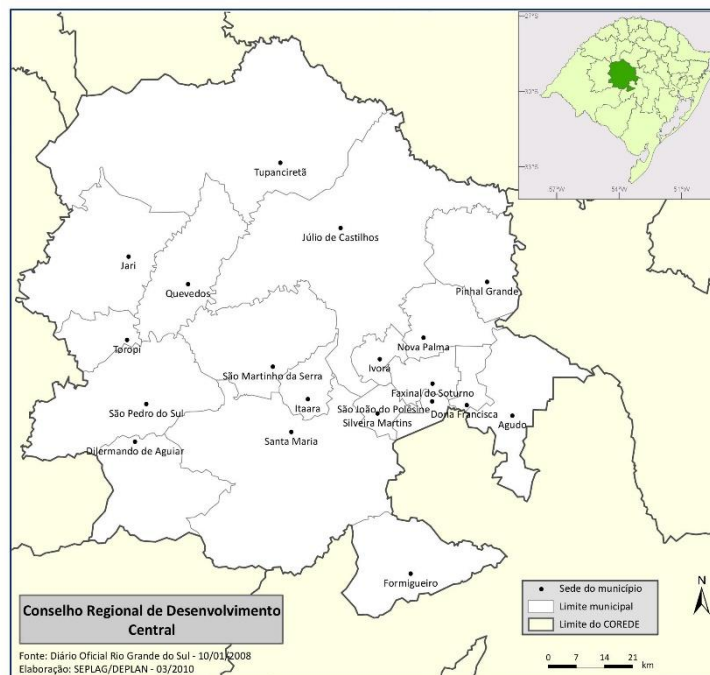
Figura 3 - Histórico da mudança do uso do solo do município de Boa Vista das Missões, RS.



Linha contínua na coloração verde representa a utilização das terras para produção agrícola, com destaque para consolidação da expansão antes da década de 1980. Fonte: (PROJETO MAPBIOMAS, 2019)

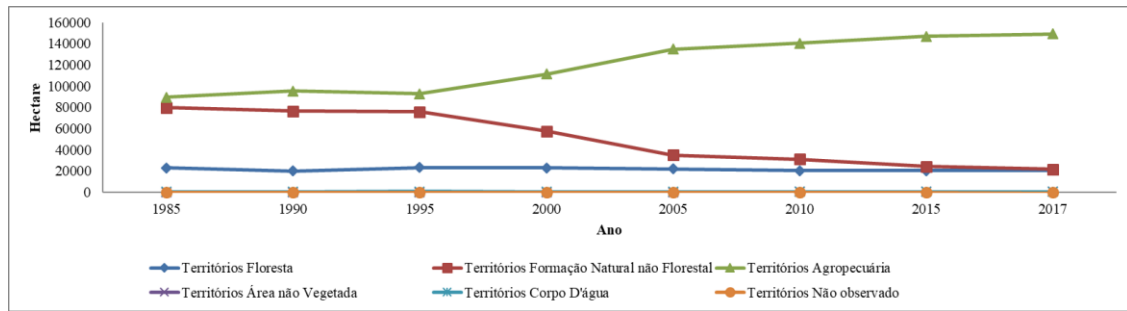
II- Latossolo Vermelho Distrófico (STRECK et al., 2008), solo localizado no município de Júlio de Castilhos, situado no COREDE Central (Figura 4), sendo uma região de expansão da soja na década de 1990 (Figura 5).

Figura 4 - Municípios do COREDE Central.



Linha contínua na coloração verde representa a utilização das terras para produção agrícola, com destaque para início da expansão na década de 1990. Fonte: (RIO GRANDE DO SUL, 2015a)

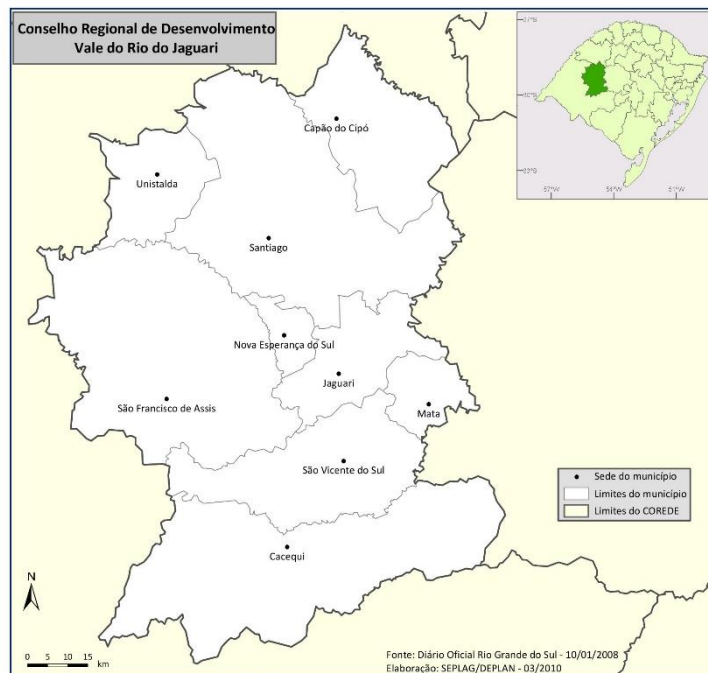
Figura 5 - Histórico da mudança do uso do solo do município de Júlio de Castilho, RS.



Fonte: (PROJETO MAPBIOMAS, 2019)

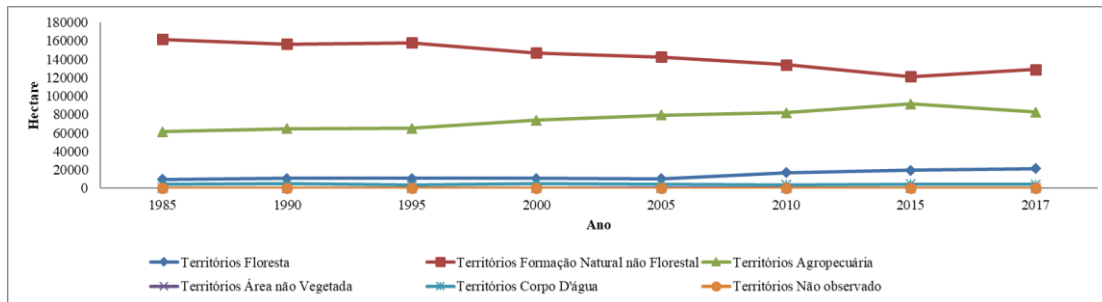
III- Argissolo Vermelho Distrófico (STRECK et al., 2008), localizado no município de Cacequi, que está posicionado no COREDE Vale do Jaguari (Figura 6), sendo uma região recente da expansão da soja no estado (Figura 7).

Figura 6 - Municípios do COREDE Vale do Jaguari.



Fonte: (RIO GRANDE DO SUL, 2015c)

Figura 7 - Histórico da mudança do uso do solo do município de Cacequi, RS.



Linha contínua na coloração verde representa a utilização das terras para produção agrícola, com destaque para expansão na década de 2010. Fonte: (PROJETO MAPBIOMAS, 2019)

As coletas para análise dos diferentes usos do solo nos três solos (Tabela 1), foram realizadas no mês de janeiro e fevereiro de 2018. Em cada localização e sistema de uso do solo, as amostras foram coletadas em nove pontos amostrais nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,30 m para análises físicas e químicas e para a realização das análises biológicas as coletas foram feitas na camada 0,0-0,10 m em cada local. Todas foram distanciadas entre si 50 m, e posteriormente encaminhadas para análise em laboratório.

Tabela 1 - Descrição detalhada dos usos dos solos nas diferentes ordens de solo analisadas do Rio Grande do Sul. Textura do solo e densidade de partícula da camada 0,10-0,20 m.

Local	Uso do Solo	Descrição do local	Areia	Silte	Argila	Dp
			g Kg ⁻¹			g cm ⁻³
I	Mata Nativa	Fragmentos de floresta Ombrófila Mista.	150	250	600	2,67
	Pastagem Natural	Na década de 1970, ocorreu a substituição da mata nativa e a revegetação de gramíneas. No local há 0,8 UA/ha	140	220	630	2,78
	Pastagem Cultivada	A pastagem cultivada Tifton (<i>Cynodon ssp.</i>), foi implantada na década de 1990, na conversão de cultivo de grãos para pastagem. Permanecendo no local em média 6 UA/ha.	80	280	640	2,78
	Cultura da Soja	A soja (<i>Glycine max</i>) foi implantada com sistema de na década de 1960. No ano de 2007, começou rotação de cultura de verão, a cada três anos é implantada a cultura do milho (<i>Zea mays</i>). As plantas de coberturas de inverno alternaram durante o tempo, entre Trigo (<i>Triticum aestivum</i>), Nabo (<i>Brassica rapa</i>), Aveia Branca (<i>Avena sativa</i>) e Aveia Preta (<i>Avena strigosa</i>).	150	230	620	2,70

II	Mata Nativa	Fragmentos de floresta Ombrófila Mista	610	190	190	2,50
	Pastagem Natural	Campo nativo, característico do bioma pampa, com presença de bovino de corte, em sistema de pastejo extensivo. No local há 0,5 UA/ha	540	140	320	2,56
	Pastagem Cultivada	A pastagem cultivada Tifton (<i>Cynodon ssp.</i>), foi implantada em 2014, com correção total do solo (5 toneladas de calcário, 300 kg de super triplo e 200 kg de KCl) na conversão de cultivo de grãos para pastagem. No verão a taxa animal é de 10 a 12 UA/ha, reduzida pela metade no inverno.	330	240	430	2,78
	Cultura da Soja	A soja foi implantada na década de 1990, no ano de 2013 foi plantado milho e após só a cultura da soja em sistema de plantio direto. Na última adubação, na implementação da cultura, foi aplicado 300 Kg de NPK 5-25-25.	400	200	400	2,50
III	Pastagem Natural	Campo nativo, característico do bioma pampa, com presença de bovino de corte, em sistema de pastejo extensivo. No local há 1 UA/ha .	760	100	140	2,60
	Pastagem Cultivada	Campo nativo, característico do bioma pampa, o qual recebeu calagem no ano de 2010. com presença de bovino de corte, em sistema de pastejo extensivo. No local há 3,5 UA/ha	780	100	120	2,50
	Cultura da Soja	A área de campo nativo, o qual no ano de 2011 foi dessecado para o cultivo da safra de soja 2011/2012 sobre sistema de plantio direto. Após a primeira safra a cultura de inverno é o azevém (<i>Lolium multiflorum</i>) e de verão a soja. Adubação ocorre somente no verão sendo a última adubação 300kg/ha de NPK 02-23-23.	720	140	140	2,50

I- Latossolo Vermelho distroférrico, II- Latossolo Vermelho distrófico, III- Argissolo Vermelho distrófico.

3.2 ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO

As avaliações das propriedades físicas do solo foram feitas em cilindros metálicos de 5 cm de altura por 5 cm de diâmetro nas respectivas camadas citadas acima. Imediatamente depois de retiradas, as amostras foram revestidas na parte superior e inferior com uma tampa plástica, e acondicionadas em caixas com estrutura de proteção para o transporte. Após a coleta, as amostras foram encaminhadas para o laboratório da Universidade Federal de Santa Maria *campus* Frederico Westphalen (UFSM/FW), onde permaneceram sob refrigeração ($\pm 5^{\circ}\text{C}$), para inibir a atividade biológica e a ocorrência de eventos que modificariam a sua

estrutura, como a germinação de sementes ou a atividade de insetos e minhocas, até a sua preparação para análise.

Nestes cilindros, em laboratório, foi retirado o excesso de solo e em seguida, as mesmas foram saturadas em recipientes por meio da manutenção de uma lâmina de água máxima de dois terços da altura dos anéis metálicos por aproximadamente 72 horas, até a sua completa saturação. As amostras foram divididas por área de coleta, para que cada uso de solo pudesse ter suas análises realizadas no mesmo momento. Foi submetido em todas as amostras a potencial matricial de -6 kPa, utilizando mesa de tensão (TEIXEIRA et al., 2017).

Após atingirem o equilíbrio no potencial matricial, as amostras foram pesadas, em seguida, secas em estufa a $\pm 105^\circ\text{C}$ por 24h e novamente pesadas para obtenção do peso seco. A densidade do solo (D_s), porosidade total, macro, microporosidade e densidade de partícula foram obtidas conforme metodologia descrita em Teixeira et al. (2017).

A qualidade estrutural do solo foi avaliada visualmente pelo método do VESS (*Visual Evaluation of Soil Structure*), em seis pontos amostrais em cada uso do solo, com a utilização de uma pá de corte, com a qual foi obtido um monolito com dimensões de 20 x 15 x 25 cm (largura, espessura e profundidade) e, determinada a qualidade estrutural do solo por meio de pontuação final ponderada (Q_e) usando a Equação 1, obtendo os *scores* conforme descrito por Guimarães et al. (2011).

$$VESS_{Q_e} = \sum_{i=1}^n \frac{Q_{ei} T_i}{TT} \quad (1)$$

Onde, $VESS_{Q_e}$ é a pontuação geral do VESS, Q_{ei} e T_i são a pontuação e espessura de cada camada de solo, respectivamente, e TT é a espessura total da amostra de solo.

3.3 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO

As coletas de solo para as análises químicas foram realizadas nos mesmos nove pontos amostrais e camadas, com auxílio de uma pá de corte e acondicionadas por camadas em sacos plásticos identificados. Após a coleta, as amostras foram encaminhadas para o laboratório de classificação de solos, onde realizou-se a retirada dos plásticos e acondicionamento em caixas de papelão para posterior realização da secagem em estufa de circulação de ar forçado, à temperatura de 45°C até peso constante. Posteriormente, foram moídas em moinho de solo tipo martelo, estando prontas para análise.

As propriedades químicas analisadas no laboratório de química do solo da UFSM/FW, de acordo como a metodologia de Silva et al. (2009), foram o pH em água (pH-H₂O) pela leitura em eletrodo de vidro, após a agitação e repouso de 10 ml de solo misturado a 10 ml de água destilada. Fósforo (P) e potássio (K) pelo método de extração Mehlich-1. Cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al³⁺) trocáveis pelo método de extração em KCl. A acidez potencial (H⁺+Al³⁺) avaliada pela leitura do pH após a adição da solução tampão SPM e segundo a Equação 2, CTC, saturação por bases e alumínio conforme manual de calagem e adubação do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016).

$$H + Al (cmol_c L^{-1}) = \frac{e^{(10,665-(1,1483 \times SMP))}}{10}$$

(2)

3.4 ANÁLISES BIOLÓGICAS DO SOLO

Para quantificação biológica, as amostras foram coletadas na primeira camada de cada ponto amostral e acondicionadas em sacos plásticos e em caixa térmica para manter a umidade até a transferência para Laboratório de biologia e microbiologia da UFSM/FW. As mesmas foram peneiradas com peneiras de aço inox de malha 2 mm, pesadas duas amostras de 50 gramas de solo cada e encaminhadas para imediata análise.

A biomassa microbiana foi determinada através da metodologia modificada por Silva, Azevedo & De-Polli (2007a) a partir da proposta de Jenkinson & Powlson (1976), com clorofórmio fumigação-incubação. As amostras de solo das diferentes áreas, em umidade de aproximadamente 60% da capacidade de campo, foram fumigadas em um dessecador, a vácuo, na presença de clorofórmio por 24 horas. Após a etapa de fumigação, elas foram incubadas em BOD à temperatura constante de 26 °C por 10 dias. As amostras foram então tituladas com adição de Cloreto de Bário a 10%, utilizando o indicador fenolftaleína a 1%, em Ácido clorídrico 0,5 molar. Para a determinação da respiração basal do solo e quociente metabólico foi utilizada a metodologia da respirometria de Jenkinson & Powlson (1976) modificado por (SILVA, AZEVEDO & DE-POLLI, 2007b).

3.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO

A qualidade do solo foi quantificada pela metodologia SMAF (*Soil Management Assessment Framework*), incluindo as propriedades químicas, físicas e biológicas de solo indicados pela literatura e que integram os algoritmos da planilha de cálculos SMAF (ANDREWS et al., 2004). A planilha em Excel[®] pode ser visualizada através do link http://soilquality.org/tools/smaf_intro.html. O SMAF é composto por três etapas (seleção de indicadores, interpretação de indicadores e integração de indicadores de qualidade do solo)

Na etapa I, foram selecionados o conjunto mínimo de dados dos algoritmos presente na planilha. O pH, fósforo e potássio foram incluídos para representar a qualidade química do solo, representado à acidez do solo e a presença dos nutrientes fósforo e potássio que são impulsionadores para o crescimento das plantas em solos tropicais. A densidade do solo foi selecionada para representar a qualidade física do solo, por ser um indicador difundido e de fácil determinação para estabelecer a compactação do solo. E por fim, a qualidade biológica representada pelo carbono da biomassa microbiana.

Na etapa II, os valores medidos para os indicadores de solo, originalmente expressos em diferentes unidades, foram transformados em escores variando de 0 a 1, utilizando os algoritmos (*scoring curves*) apresentados na planilha SMAF, a seguir são descritos as instruções lógicas de condução e os algoritmos utilizados. Os algoritmos desenvolvidos para cada indicador foram baseados na taxonomia do solo, mineralogia, textura, temperatura típica e regimes de precipitação para a área de amostragem, declividade, tempo de amostragem, cultura dominante e os métodos analíticos utilizados para cada uso do solo, como descrito por Andrews et al. (2004) e Wienhold et al. (2009) e resumido na Tabela 2. As curvas de pontuações de pH, fósforo e potássio foram de acordo com 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/SC, 2016).

Para o indicador pH a constante “b” varia de acordo com o pH ótimo da cultura, logo para mata nativa foi 5,5, pastagem natural 5,5, pastagem cultivada 6 e soja 6.

A interpretação do fósforo é realizada de acordo com uma série de algoritmos e declarações lógicas. Se o valor de fósforo for menor que o nível crítico para cultura, logo b é em função do nível crítico da cultura, classe da matéria orgânica, classe textural do solo e o método de análise. Se o valor de fósforo for maior que o limite crítico da cultura e maior que estabelecido de acordo com a inclinação do terreno, o c é determinado em função da inclinação do terreno, classe da matéria orgânica, classe textural do solo e o método de análise. E se as medidas de fósforo forem iguais ou superiores ao limite crítico para a cultura e inferior ao limite de proteção ambiental ditado pela inclinação do terreno, a pontuação é 1.

Os códigos selecionados no SMAF para todos os tipos de solo foram 4 (teor baixo de matéria orgânica) para classe de matéria orgânica, o método utilizado para medir P extraível foi Mehlich-1 selecionando o código 1, e para inclinação do terreno foi 2 (2-5% de inclinação). A classe textural variou de acordo com a textura de cada uso do solo (tabela 1), sendo código 4 (solo argiloso, 40 a 60 % de argila) para mata nativa, pastagem natural, pastagem cultivada e soja do Latossolo Vermelho distroférico e para soja e pastagem cultivada do Latossolo Vermelho distrófico. E 2 (solo franco-arenoso) para os usos do solo pastagem nativa e mata nativa do Latossolo Vermelho distrófico e para pastagem natural, pastagem cultivada e soja do Argissolo Vermelho distrófico.

Tabela 2 - Algoritmos de interpretação dos indicadores de qualidade do solo; pH (pH), P (mg dm⁻³), K (mg dm⁻³), CBM (mg kg⁻¹) e Ds (Mg m⁻³).

Indicador	Algoritmo*	Constante	Fator local específico
pH	$y = a \cdot \exp [-(\text{pH}-b)^2 / (2 \cdot c^2)]$	a=1,0 c=1,0	b, c=f (cultura)
P	Se $P \leq \max(\text{para cultura e método})$, então $y = (a \cdot b + c \cdot P^d) / (b + P^d)$	a=9,26x10 ⁶ ; c=1,0; d=3,06	b= f(cultura, COS, textura, método)
	Se, $P > \max(\text{para declividade e método})$, então $y = a - b \exp (-c \cdot P^d)$, mais y=1	a=1; c=1,0; d=3,06	b= f(cultura, COS, textura, método)
K	$y = a \cdot (1 - \exp^{-b \cdot K})$	a=1,07/ 1,20, b=-0,016/-0,02	a, b, k = f(cultura, textura)
CBM	$y = a / [1 + b \cdot \exp (-c \cdot \text{CBM})]$	a=1; b=40,478	c= f(classe, textura, clima)
Ds	$y = a - b \cdot \exp (-c \cdot Ds^d)$	a=0,994;	b, c, d= f(textura, mineralogia)

*Adaptado de Andrews et al. (2004) e Wienhold et al. (2009)

Para o indicador pH a constante “b” varia de acordo com o pH ótimo da cultura, logo para mata nativa foi 5,5, pastagem natural 5,5, pastagem cultivada 6 e soja 6.

A interpretação do fósforo é realizada de acordo com uma série de algoritmos e declarações lógicas. Se o valor de fósforo for menor que o nível crítico para cultura, logo b é em função do nível crítico da cultura, classe da matéria orgânica, classe textural do solo e o método de análise. Se o valor de fósforo for maior que o limite crítico da cultura e maior que estabelecido de acordo com a inclinação do terreno, o c é determinado em função da inclinação do terreno, classe da matéria orgânica, classe textural do solo e o método de

análise. E se as medidas de fósforo forem iguais ou superiores ao limite crítico para a cultura e inferior ao limite de proteção ambiental ditado pela inclinação do terreno, a pontuação é 1. Os códigos selecionados no SMAF para todos os tipos de solo foram 4 (teor baixo de matéria orgânica) para classe de matéria orgânica, o método utilizado para medir P extraível foi Mehlich-1 selecionando o código 1, e para inclinação do terreno foi 2 (2-5% de inclinação). A classe textural variou de acordo com a textura de cada uso do solo (tabela 1), sendo código 4 (solo argiloso, 40 a 60 % de argila) para mata nativa, pastagem natural, pastagem cultivada e soja do Latossolo Vermelho distroférico e para soja e pastagem cultivada do Latossolo Vermelho distrófico. E 2 (solo franco-arenoso) para os usos do solo pastagem nativa e mata nativa do Latossolo Vermelho distrófico e para pastagem natural, pastagem cultivada e soja do Argissolo Vermelho distrófico.

Os algoritmos a e b do potássio são em função da classe textural do solo, sendo indicado para os mesmos códigos do fósforo. Logo, para solos argilosos (código 4) os valores das constantes são $a=1,07$ e $b=-0,016$ e para solos de textura franco-arenoso (código 2) os valores de a e b são, respectivamente, 1,2 e -0,02.

A determinação dos escores do carbono da biomassa microbiana, a constante “c” é em função da classe textural do solo, classe de matéria orgânica e do fator clima. Sendo indicado para classe textural e matéria orgânica os mesmos códigos que para o fósforo. Para o fator clima foi de indicado 1 (≥ 170 graus dia e ≥ 550 mm de precipitação anual média) para os três tipos de solo estudo.

Os parâmetros específicos do local, para densidade do solo, são “b”, “c” e “d”, que variam de acordo com a textura e a mineralogia do solo. A classe textural foi selecionada para esse parâmetro igual à do fósforo e o fator classe de mineralogia foi 3 (argila 1-1 e óxidos de Fe e Al) para todos usos do solo.

Por fim, na etapa III os escores dos indicadores individuais foram integrados em um índice de qualidade ponderada do solo (IQS) pela Equação 3.

$$IQS = \sum_{i=1}^n S_i W_i \quad (3)$$

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

3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Estatisticamente, os dados foram submetidos ao teste de análise de variância (Anova), para inferir a influência do uso do solo em cada região e, posteriormente, a análise dos índices de qualidade do solo, pelos escores individuais do SMAF e também análise dos índices químicos, físicos e biológicos entre os usos de cada região. Quando significativos, os valores dos resultados foram comparados usando o teste de t de student ($p < 0,05$). Todas as análises foram realizadas através do software SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO

4.1.1 Propriedades físicas do solo

A densidade do solo no uso do solo com cultivo da soja, em todas as camadas, foi encontrado valores superiores aos demais usos do solo, sem, entretanto, diferir da pastagem cultivada nas três camadas analisadas e nas camadas 0,00-0,10 e 0,20-0,30m da pastagem nativa (Tabela 3). Na camada de 0,10-0,20 m, obtive o valor mais elevado de densidade do solo ($1,49 \text{ Mg m}^{-3}$) e menor de porosidade total ($0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) no uso do solo para soja. Normalmente, em áreas cultivadas no sistema de plantio direto verifica-se maior estado de compactação (maior densidade do solo) em solos argilosos na camada de 0,07 a 0,20 m (REICHERT et al., 2009).

Em Cruz et al. (2018), a cultura da soja não resultou em aumento da densidade do solo quando comparada com pastagem nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, destacando a influência negativa dos cultivos sobre a qualidade física do solo, em comparação com diferentes usos do solo. E para Koppe (2014) o sistema plantio direto e o sistema com integração lavoura pecuária em sistema plantio direto apresentaram maior estado de compactação quando comparado com a vegetação nativa e em área escarificada em um Latossolo Vermelho distrófico.

A maior porosidade total foi para o uso do solo de mata nativa diferindo dos demais usos do solo em todas as camadas (Tabela 3). A pastagem natural não diferenciou da pastagem cultivada, embora seus sistemas de manejo e cobertura do solo sejam distintos.

Na camada 0,10-0,20 m, o cultivo de soja obteve menor porosidade total, diferindo estatisticamente, dos demais usos do solo (Tabela 3). Nas demais camadas, o cultivo da soja não apresentou diferenças significativas com os cultivos de pastagens (cultivada e natural).

A remoção da mata nativa para utilização agrícola do solo impacta negativamente a nas propriedades físicas do solo. Isto ocorre pelo fato de que o manejo do cultivo de soja, assim como o pastoreio do gado, aumenta a densidade do solo e diminui a porosidade total. Trabaquini et al. (2015) também observaram influência negativa (aumento da densidade e diminuição da porosidade total do solo) pela mudança do uso do solo de mata nativa para atividades agrícolas com tempo superior a 20 anos de modificação do solo.

Tabela 3 - Propriedades físicas do solo densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (Micro) e macroporosidade (Macro) influenciadas pelos usos do solo nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.

Uso do Solo	Ds	Pt	Micro	Macro
	Mg m ⁻³	m ³ m ⁻³		
----- 0,00 a 0,10 (m) -----				
Mata Nativa	0,88 b*	0,68 a	0,37 c	0,31 a
Pastagem Natural	1,37 a	0,49 b	0,46 a	0,03 c
Pastagem Cultivada	1,32 a	0,51 b	0,45 a	0,06 cb
Soja	1,40 a	0,50 b	0,41 b	0,10 b
CV (%)	8,96	7,47	5,40	34,56
DMS	0,107	0,014	0,022	0,042
----- 0,10 a 0,20 (m) -----				
Mata Nativa	1,01 c	0,62 a	0,41 b	0,21 a
Pastagem Natural	1,40 b	0,50 b	0,45 a	0,04 b
Pastagem Cultivada	1,44 ba	0,48 b	0,43 ab	0,05 b
Soja	1,49 a	0,45 c	0,41 b	0,04 b
CV (%)	5,40	5,17	5,45	47,67
DMS	0,069	0,025	0,022	0,039
----- 0,20 a 0,30 (m) -----				
Mata Nativa	1,04 b	0,62 a	0,39 b	0,23 a
Pastagem Natural	1,38 a	0,51 b	0,45 a	0,06 cb
Pastagem Cultivada	1,33 a	0,50 b	0,46 a	0,05 c
Soja	1,39 a	0,51 b	0,41 b	0,09 b
CV (%)	6,51	5,66	5,61	42,34
DMS	0,080	0,029	0,023	0,044

* Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

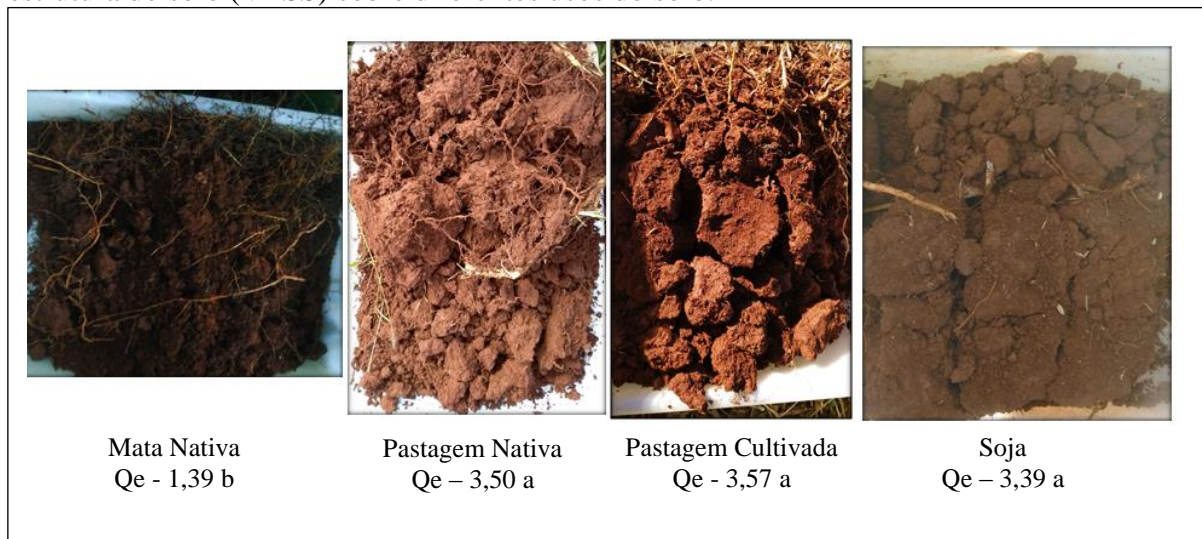
Em contrapartida, a macroporosidade na área com pastagem nativa e da cultivada, foram inferiores a 0,10 m³ m⁻³ (Tabela 3). Estudos correlatos demonstram que macroporos abaixo deste ponto podem ocasionar deficiência de oxigênio, essencial para o desenvolvimento da planta (KLEIN, 2008; SILVA et al., 2010). A compactação causada pelo pisoteio animal, mesmo sendo considerada superficial, pode reduzir a infiltração de água no solo, podendo aumentar o escoamento superficial e reduzir sua infiltração no solo (LANZANOVA et. al., 2007).

No uso do solo em sistema de plantio direto (soja), a microporosidade não diferenciou da mata nativa e da pastagem cultivada na camada de 0,10-0,20 m de solo. A maior microporosidade foi para a pastagem natural que não diferenciou da pastagem

cultivada. Na camada de 0,20-0,30 m, as áreas com soja e mata nativa obtiveram menor microporosidade que as pastagens (cultivada e natural).

A qualidade estrutural do solo, avaliada visualmente pelo método VESS (*Visual Evaluation of Soil Structure*), permitiu identificar diferença na estrutura entre as áreas de estudo (Figura 8). A mata nativa apresentou Q_e de 1,39, caracterizado por presença de agregados pequenos, raízes em toda extensão do bloco e alta porosidade, obtendo qualidade estrutural superior aos demais usos do solo. A conversão da vegetação nativa para o uso agrícola e pecuário aumentou o *score* VESS nos demais usos do solo (pastagem natural, pastagem cultivada e soja) onde obtiveram nota superior ao valor crítico (3,0), não diferenciando entre si, o que indica uma estrutura do solo limitante ao crescimento radicular e inspira a necessidade de melhoria do manejo (GUIMARÃES et al., 2011).

Figura 8 - Imagens das estruturas do solo avaliadas e os *score* médios da avaliação da estrutura do solo (VESS) sobre diferentes usos do solo.



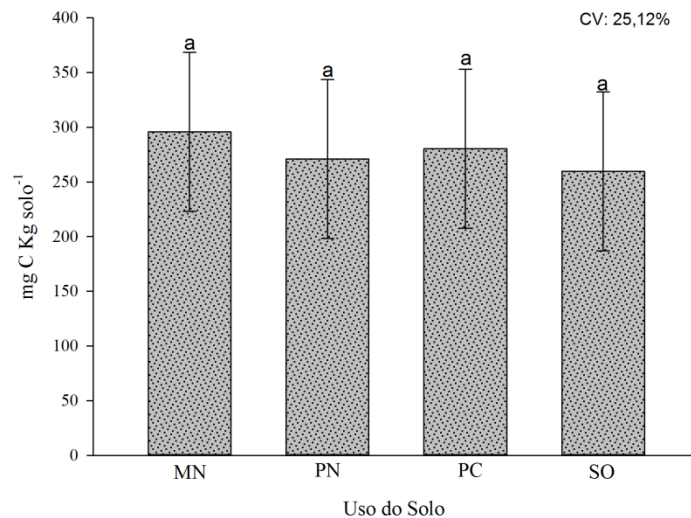
*Médias seguidas por mesma letra, não diferem entre si pelo teste t a 5%. Fonte: Autor (2019).

A compactação verificada nos locais estudados pode ser atribuída à ausência da mobilização mecânica do solo, ao uso de maquinários pesados no manejo da cultura da soja e pelo pisoteio animal sobre o solo na pastagem natural e pastagem cultivada (TORMENA et al., 2002; REICHERT, REINERT & BRAIDA, 2003; LUZ, 2017; CRUZ et al., 2018).

4.1.2 Propriedades biológicas do solo

O carbono da biomassa microbiana (Figura 9) não obteve diferença estatística entre os usos do solo, encontram-se entre 259 a 280 mg C kg solo⁻¹, valores abaixo do ideal para o teor de argila desse solo que é 453 mg C kg solo⁻¹ (DALAL, 1998). Para Wardle & Ghani (2018) a quantidade de carbono da biomassa microbiana também não variou com a mudança da mata nativa para o uso do solo agrícola.

Figura 9 - Carbono da biomassa microbiana em função dos usos do solo MN (mata nativa), PN (pastagem nativa), PC (pastagem cultivada) e SO (soja).



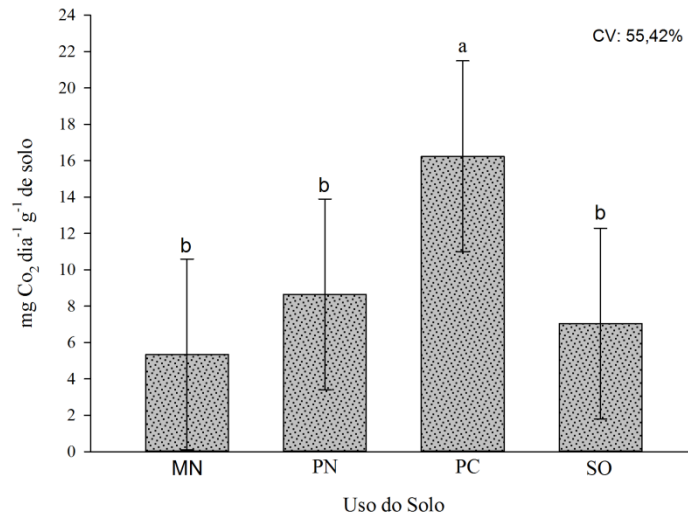
Barras indicam a diferença mínima significativa. Médias seguidas por mesma letra, não diferem entre si pelo teste t a 5%. Fonte: Autor (2019)

Porém, Navroski et al. (2018) encontraram diminuição da biomassa microbiana da mata nativa para os sistemas de plantio direto e entre os sistemas de cultivos plantio direto não houve diferença significativa.

Os valores de biomassa microbiana nesse trabalho foram considerados baixos e não diferiram entre os usos do solo, principalmente pelos usos dos solos analisados terem presença de cobertura vegetal e renovação contínua de material orgânico a ser decomposto.

As propriedades biológicas respiração basal do solo (Figura 10) e quociente metabólico (Figura 11) obtiveram maiores valores para a pastagem cultivada, diferindo dos demais usos do solo. Valores elevados nesses aspectos mostram uma população microbiana ineficiente na pastagem cultivada (WARDLE & GHANI, 2018) que consome mais carbono oxidável para manutenção dos microrganismos.

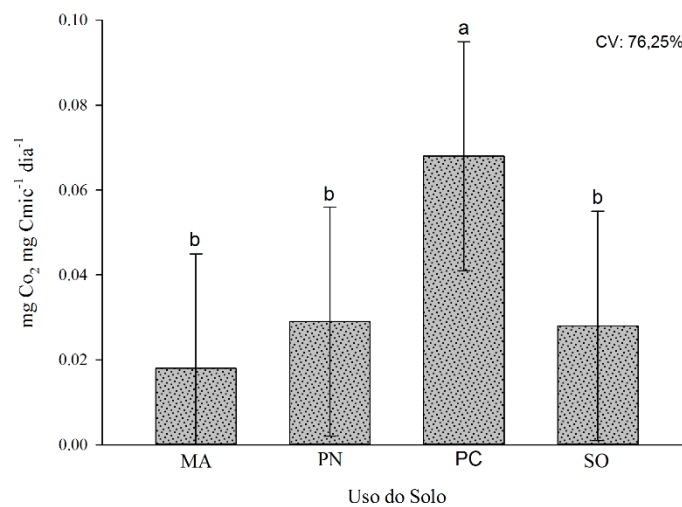
Figura 10 – Respiração basal do solo nos diferentes usos do solo MN (mata nativa), PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada) e SO (soja).



Barras indicam a diferença mínima significativa. Médias seguidas por mesma letra, não diferem entre si pelo teste de t a 5%. Fonte: Autor (2019).

A substituição do uso do solo com mata nativa para pastagem cultivada fez aumentar a respiração basal do solo e quociente metabólico, ocorrendo maior perda de CO₂ por unidade de biomassa, provavelmente pelos exsudados radiculares (substâncias secretadas pelas raízes de plantas) serem fontes de carbono (OLIVEIRA et al., 2016). Porém o aumento da atividade metabólica dos microrganismos não incrementou o carbono na biomassa microbiana (Figura 9) sendo essa maior atividade para adaptação da população microbiana no ambiente.

Figura 11 – Quociente metabólico de acordo com os usos do solo MN (mata nativa), PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada) e SO (soja).



Barras indicam a diferença mínima significativa. Médias seguidas por mesma letra, não diferem entre si pelo teste de t a 5%. Fonte: Autor (2019).

Navroski et al. (2018) verificou para biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico do solo valores maiores para o uso do solo com mata nativa em comparação com diferentes sistemas de manejos do solo agrícolas. As condições adversas dos manejos agrícolas, resultam na diminuição das propriedades biológicas do solo.

4.1.3 Propriedades químicas do solo

A mata nativa obteve acidez ativa maior que os demais usos do solo analisados (Tabela 4). Na camada de 0,00-0,10 m não foi observada diferença entre os ambientes de pastagem natural, cultivada e cultura da soja, para as propriedades de pH, SMP, Al^{3+} , $\text{H} + \text{Al}^{3+}$ e saturação por Al^{3+} (Tabela 4). A saturação por bases e a CTC efetiva, nesta camada foram superiores para o cultivo da soja e pastagem cultivada, diferindo dos demais usos. Valores de alta saturação por bases e baixa saturação por Al^{3+} estão associados com o aumento dos valores de pH (TIECHER et al., 2016).

Os usos do solo com atividade agrícola (pastagem natural, cultivada e a cultura da soja) se diferenciaram da mata nativa para $\text{H} + \text{Al}^{3+}$, e não foi observado efeito entre si, na camada 0,00-0,10 m de solo. Lourenzi et al. (2016) não verificaram efeitos nas camadas superficiais para $\text{H} + \text{Al}^{3+}$, por causa do aumento do teor de matéria orgânica no solo.

Em camadas subsuperficiais (0,10-0,20 e 0,20-0,30 m), a pastagem cultivada obteve pH de 5,97 e 5,95, respectivamente, também uma maior saturação por base, maior $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ e uma menor saturação por Al^{3+} , não sendo superior apenas do cultivo da soja nessas duas últimas propriedades químicas. Nesses usos do solo não apresentam problemas com acidez por terem valores de pH $>5,5$ e saturação por bases maior que 65%, logo, maior porcentagem dos colóides do solo são ocupados por cátions (CQFS-RS/SC, 2016). Valores baixos de saturação por bases na mata nativa indicam maior adsorção de Al^{3+} e H^+ nos colóides do solo, mostrado pela alta saturação por Al^{3+} .

Tabela 4 - Valores de acidez do solo e CTC nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, sobre diferentes usos do solo mata nativa (MN), pastagem natural (PN), pastagem cultivada (PC) e soja (SO).

Uso do Solo	pH _{água}	Índice SMP	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	CTC		Saturação		
					Efetiva	pH7,0	Bases	Al	
					----- cmolc/L -----		---- % ----		
----- 0,00 a 0,10 (m) -----									
MN	4,28 b*	5,15 b	2,33 a	12,06 a	5,92 b	15,64 a	24,05 c	41,82 a	
PN	5,48 a	5,94 a	0,31 b	4,84 b	6,91 b	11,44 b	57,61 b	5,16 b	
PC	5,69 a	6,16 a	0,04 b	3,79 b	10,40 a	14,15 a	73,17 a	0,48 b	
SO	5,73 a	5,99 a	0,12 b	4,46 b	10,12 a	14,45 a	68,45 a	1,65 b	
CV (%)	5,22	4,05	83,3	30,61	19,56	13,7	18,91	85,95	
DMS	0,27	0,26	0,56	1,85	1,57	1,83	10,14	10,13	
----- 0,10 a 0,20 (m) -----									
MN	4,36 c	5,00 c	3,12 a	14,52 a	4,98 b	16,38 a	12,85 d	64,17 a	
PN	5,23 b	5,73 b	1,18 b	6,41 b	4,92 b	10,16 c	37,71 c	27,66 b	
PC	5,97 a	6,34 a	0,57 cb	2,98 c	8,85 a	11,83 bc	74,79 a	0,00 c	
SO	5,45 b	5,78 b	0,00 c	5,87 b	7,91 a	13,22 b	55,59 b	8,93 c	
CV (%)	5,81	4,99	66,73	37,23	15,42	16,08	30,69	75,48	
DMS	0,29	0,27	0,78	2,66	0,99	1,99	13,33	18,02	
----- 0,20 a 0,30 (m) -----									
MN	4,41 d	5,00 c	3,27 a	14,03 a	4,60 b	15,37 a	9,05 d	71,10 a	
PN	5,24 c	5,76 b	1,37 b	6,01 b	4,45 b	9,09 b	33,62 c	34,30 b	
PC	5,95 a	6,35 a	0,00 c	2,94 c	8,18 a	11,12 b	73,1 a	0,00 c	
SO	5,61 b	5,87 b	0,40 c	5,71 b	8,21 a	13,52 a	59,01 b	6,67 c	
CV (%)	4,93	4,91	48,75	31,79	20,94	17,81	29,42	53,00	
DMS	0,25	0,27	0,59	2,19	1,28	2,10	12,35	14,26	

* Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de t, ao nível de 5% de probabilidade de erro; ns não significativo. Al³⁺ - Alumínio.

O Latossolo vermelho distróferico tem baixa capacidade de troca de cátions e a matéria orgânica do solo contribui com a maior parte da CTC. A CTC_{pH7} foi considerada média, de acordo com o manual de calagem e adubação do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016), para todos os usos do solo e diminuiu de acordo com o aumento da profundidade do solo. A diminuição da matéria orgânica em profundidade foi conclusiva para Netto et al., (2009) explicar valores mais baixos na CTC_{pH7} em profundidade de um Latossolo Vermelho.

Os maiores teores de fósforo foram para o uso do solo para pastagem cultivada (Tabela 5). Os valores de fósforo são considerados muito altos para o desenvolvimento da pastagem (CQFS-RS/SC, 2016). Foi verificada baixa quantidade de fósforo na mata nativa,

não diferindo estatisticamente da pastagem natural e da cultura da soja na camada 0,10-0,20 e na 0,20-0,30 m, em razão da baixa fertilidade natural do Latossolo Vermelho distroférico.

Para soja a maior quantidade de fósforo foi na primeira camada, sendo superior a pastagem natural e mata nativa (Tabela 5). O maior valor de fósforo no solo para a pastagem cultivada e para soja na camada 0,00-0,10 m se deve pela adubação fosfatada realizada nos locais nos anos de cultivo e a baixa mobilidade do nutriente (CHERUBIN et al., 2011). Aliado ao sistema de plantio direto responsável por elevar o teor de fósforo em função da permanência de cobertura do solo o ano todo, o que favorece a ciclagem deste nutriente ao longo do tempo (LUZ, 2017).

Tabela 5 – Teor de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em diferentes usos do solo em um Latossolo Vermelho distroférico.

Uso do solo	P	K	Ca	Mg
	----- mg/L -----		----- cmolc/L -----	
	----- 0,00 a 0,10 (m) -----			
Mata Nativa	2,96 c*	65,07 c	2,51 b	0,91 c
Pastagem Natural	3,24 c	232,53 b	3,76 b	2,25 b
Pastagem Cultivada	42,90 a	293,60 a	6,58 a	3,03 a
Soja	20,39 b	193,87 b	6,59 a	2,91 a
CV (%)	83,76	28,24	27,25	25,11
DMS	15,48	53,22	1,27	0,55
	----- 0,10 a 0,20 (m) -----			
Mata Nativa	1,29 b	33,73 c	1,27 b	0,50 c
Pastagem Natural	1,05 b	131,47 b	2,14 b	1,27 b
Pastagem Cultivada	14,68 a	218,27 a	5,55 a	2,74 a
Soja	7,22 b	118,27 b	4,75 a	2,29 a
CV (%)	109,05	50,68	30,56	32,81
DMS	6,60	61,04	1,01	0,54
	----- 0,20 a 0,30 (m) -----			
Mata Nativa	0,89 b	30,00 b	0,99 b	0,27 c
Pastagem Natural	1,29 b	127,33 a	1,73 b	1,03 b
Pastagem Cultivada	11,84 a	207,73 a	5,05 a	2,59 a
Soja	2,24 b	134,67 a	5,04 a	2,42 a
CV (%)	63,20	59,43	32,91	35,95

*Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste t, ao nível de 5% probabilidade de erro.

O teor de potássio na camada 0,00-0,10 m e na 0,10-0,20 m foi maior para a pastagem cultivada (Tabela 5), e na camada 0,20-0,30 m não houve diferença entre a pastagem cultivada, pastagem natural e a soja. A mata nativa apresentou menor quantidade de potássio.

A principal via de transferência de nutrientes para o solo, quando não pela fertilização, ocorre através da ciclagem de nutrientes (VITAL et al., 2004). As pastagens cultivadas têm alta produção de fitomassa seca e o potássio é o nutriente que é liberado em maior quantidade pelas gramíneas (CRUSCIOL et al., 2008), justificando os valores elevados encontrados nas pastagens para este macronutriente.

Em um experimento com dois diferentes manejos de pastagem, mais a pastagem natural, Yu et al. (2018) encontraram valores superiores para potássio no manejo com a maior quantidade de biomassa (515 g m^{-2}) sendo superior ao manejo de 318 g m^{-2} e à pastagem natural. Esse estudo reforça a influência direta da qualidade da pastagem para o aumento do potássio do solo.

De acordo com o manual de calagem e adubação do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016) a pastagem cultivada e a soja têm teores considerados altos de Ca ($>4,0 \text{ cmolc L}^{-1}$). A mata nativa e pastagem cultivada têm teores considerados médios na primeira ($2,0-4,0 \text{ cmolc L}^{-1}$). Na camada 0,10-0,20 m os teores são considerados médios para pastagem natural e baixo ($< 2,0 \text{ cmolc L}^{-1}$) para mata nativa. E na camada 0,20-0,30 m, ambas apresentaram baixa quantidade de cálcio. Segundo Cherubin et al. (2015a) a alta quantidade de Ca para os usos do solo com cultivo de pastagem cultivada e soja se deve às correções realizadas para corrigir a acidez do solo.

Os teores de magnésio acima de $1,0 \text{ cmolc L}^{-1}$ são considerados alto para as plantas (CQFS-RS/SC, 2016). Somente a mata nativa não obteve teores altos de magnésio, nas demais áreas a quantidade é suficiente para um bom desenvolvimento das plantas. Foi verificado para cultura da soja e pastagem cultivada valores significativamente superiores aos demais usos do solo. A pastagem natural foi superior à mata nativa nas camadas estudadas. Silva (2018) encontrou valores superiores de magnésio para pastagem, e observaram que há permanência de cátions bases (Mg, Ca, K) no solo, desacidificando o solo e não permitindo lixiviação dessas bases.

4.1.4 Considerações finais Latossolo Vermelho distroférico

A mudança do uso do solo, de mata nativa para pastagem natural, pastagem cultivada e para cultivo de soja, ocasionou degradação das propriedades físicas do solo nas três

camadas. Foi verificado o aumento da densidade do solo e a diminuição da porosidade total, assim como o aumento do *score* do VESS, o que demonstra uma qualidade estrutural com limitações ao crescimento radicular.

O carbono na biomassa microbiana não diferenciou entre os usos do solo. A pastagem cultivada, obteve maior atividade metabólica, porém não resultou em incorporação do carbono nos tecidos microbianos.

Os usos do solo para o cultivo da soja e pastagem cultivada, em observação das propriedades químicas do solo, foram beneficiados pelo manejo adotado. Ocorreu aumento dos valores de pH, saturação por bases, CTC_{efetiva} e dos teores de fósforo, cálcio e magnésio.

4.2 LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO

4.2.1 Propriedades físicas do solo

A densidade do solo para pastagem cultivada e natural obteve valores, respectivamente, de 1,57 Mg m⁻³ e 1,56 Mg m⁻³ na camada 0,00-0,10 m, superiores a densidade do solo da soja (1,37 Mg m⁻³) e mata nativa (1,22 Mg m⁻³) (Tabela 6). Estudos demonstram que o pastejo animal eleva a densidade do solo na camada superficial (LANZANOVA et al., 2007; LUZ, 2017) e que essa compactação do solo diminui o vigor da pastagem (BRAZ et al., 2004). Valores mais altos de densidade do solo em áreas cultivadas em comparação à mata nativa também foi verificado por Jakelaitis et al. (2008), Cherubin et al. (2015a), Mazurana et al. (2017), Campos et al. (2018) e Luz et al. (2019).

Campos et al. (2018) destacam que não há incrementos significativos na densidade do solo na camada superficial, em sistema de plantio direto utilizado para o cultivo da soja. Da mesma forma neste tipo de sistema, o efeito da semeadura mobiliza a camada mais superficial do solo, fator que evita a elevação da densidade na camada de 0,0-0,10 m (SILVA et al., 2017).

Devido ao aumento da densidade do solo afetar principalmente o crescimento radicular das plantas, essa compactação representa um importante processo de degradação do solo (KLEIN et al., 2009). Na camada de 0,10-0,20 m o uso do solo com soja não se diferenciou das pastagens cultivada e natural. A pastagem natural manteve maior densidade na camada 0,20-0,30 m, superior estatisticamente aos demais sistemas de usos. A maior densidade do solo observada neste sistema pode estar relacionada à presença ininterrupta de bovinos e à degradação do campo nativo. Zalamera (2008) observou valores superiores de

densidade do solo para uso do solo de pastagem natural e da soja em sistema plantio direto de 9 anos aos encontrados para área de mata nativa. Ele também relatou que a densidade do solo da soja foi de $1,39 \text{ Mg m}^{-3}$ nas camadas 0,00-0,10 e 0,20-0,30 m, sendo restritivo ao crescimento radicular das plantas para aquele tipo de solo.

Tabela 6 – Propriedades físicas densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (Micro) e macroporosidade (Macro) influenciados pelos usos do solo nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.

Uso do Solo	Ds	Pt	Micro	Macro
	Mg m^{-3}	$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$		
----- 0,00 a 0,10 (m) -----				
Mata Nativa	1,22 c*	0,54 a	0,39 a	0,15 a
Pastagem Natural	1,56 a	0,41 c	0,26 b	0,16 a
Pastagem Cultivada	1,57 a	0,41 c	0,39 a	0,02 c
Soja	1,37 b	0,48 b	0,41 a	0,07 b
CV (%)	7,97	9,34	11,34	51,28
DMS	0,11	0,04	0,04	0,05
----- 0,10 a 0,20 (m) -----				
Mata Nativa	1,43 b	0,46 a	0,34 b	0,12 a
Pastagem Natural	1,64 a	0,38 c	0,23 c	0,15 a
Pastagem Cultivada	1,52 a	0,43 b	0,40 a	0,03 b
Soja	1,52 a	0,43 b	0,38 a	0,05 b
CV (%)	6,08	8,32	8,59	39,83
DMS	0,08	0,03	0,03	0,03
----- 0,20 a 0,30 (m) -----				
Mata Nativa	1,54 b	0,42 b	0,33 b	0,09 b
Pastagem Natural	1,63 a	0,38 c	0,23 c	0,15 a
Pastagem Cultivada	1,45 c	0,45 a	0,40 a	0,05 c
Soja	1,45 c	0,45 a	0,40 a	0,05 c
CV (%)	4,11	5,50	8,48	33,33
DMS	0,06	0,02	0,03	0,03

* Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Foram encontrados menores valores de porosidade total para pastagem natural e cultivada na primeira camada, influenciada pelo pisoteio animal na área. O uso de práticas e manejos do solo alternativos, visando a sanidade edáfica poderiam reduzir problemas causados pela lotação animal em área de pastagem (COLODEL et al., 2018).

A cultura da soja obteve porosidade total superior às pastagens e inferior à mata nativa, na camada 0,00-0,10 m. O acúmulo da matéria orgânica do solo, que ocorre em maior concentração na mata nativa, faz com que a porosidade total tenha os maiores valores na

camada superficial do solo (GONÇALVES & MORAES, 2012). A permanência de plantas de cobertura com a decomposição de resíduos vegetais resulta no aumento da porosidade total na soja (PILATTI, 2018).

A área cultivada com pastagem natural apresentou a menor porosidade total nas três camadas analisadas. A presença contínua do pisoteio animal aliado com a degradação da pastagem natural podem ter contribuído para a sua diminuição. Rauber et al. 2018 observaram no uso do solo com pastagem natural a redução da porosidade total e atribuíram isto a permanência constante de animais na área. Já Silva et al. (2014) não encontraram diferença na porosidade total entre área nativa (cerrado) com áreas manejadas com culturas anuais.

Pode ser constatado que a mudança de ambientes naturais (mata nativa e pastagem natural) para sistemas agrícolas (pastagem cultivada e soja) influencia negativamente a macroporosidade do solo (Tabela 6). Os valores para os sistemas agrícolas encontram-se abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sendo considerado crítico para o desenvolvimento radicular das plantas pela deficiência de oxigênio no solo (REICHERT et al., 2007; KLEIN, 2008).

A pastagem natural, embora com densidade do solo elevada, manteve volume de macroporosidade superior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Nos ambientes agrícolas, a macroporosidade apresentou-se de forma oposta, o que afetou negativamente no volume de poros responsáveis pela aeração o solo nesses sistemas de usos. Ressalta-se que o indicativo inicial da compactação do solo é a redução do diâmetro dos poros (STONE et al., 2006).

A microporosidade foi afetada pelos usos distintos do solo, sendo encontrada menor volume para a pastagem natural em todas as camadas avaliadas (Tabela 6). Na soja, mata nativa e pastagem cultivada não houve diferença na camada 0,00-0,10 m na microporosidade (Tabela 6). A pastagem cultivada e a soja obtiveram maior volume de microporos nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, sendo superiores ao uso do solo com passagem natural e mata nativa

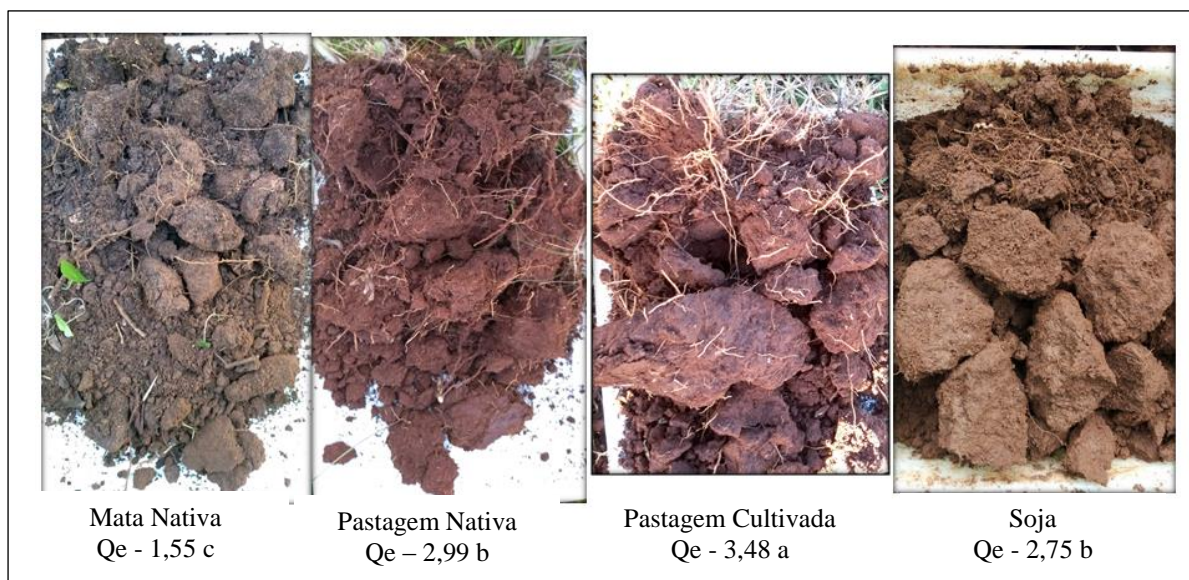
O aumento da microposidade associado com a diminuição da macroposidade, como foi verificado nos ambientes agrícolas, resultado da compactação do solo nesses usos do solo (FONSECA et al., 2007). As atividades agrícolas aumentam a microporosidade devido à fragmentação dos macroporos em poros menores, pelo tráfego de maquinários e o intenso pisoteio animal, justificando, assim, a maior microporosidade nessas áreas (CAMPOS et al., 2018; COLODEL et al., 2018).

Na avaliação visual da estrutura do solo (Figura 12) a mata nativa obteve $Q_e = 1,55$ obtendo a melhor qualidade estrutural em relação aos demais usos do solo. Esses resultados

corroboram com Giarola et al. (2013) e Cherubin et al. (2017), que encontraram Q_e próximos a 1 para uso de solo com mata nativa.

No uso do solo com pastagem natural o *score* VESS foi de 2,99, demonstrado que o efeito do pisoteio animal diminuiu a qualidade estrutural do solo quando comparado a mata nativa. Entretanto, quando se intensifica o uso do solo com a pastagem cultivada, com um número maior de animais sobre essa pastagem e aliado ao tráfego de máquinas para os tratos culturais na pastagem, verificou-se que o índice Q_e aumentou para 3,48. Pode-se notar na foto da pastagem cultivada, Figura 12, abaixo das raízes presença de agregados maiores e não porosos, característico de Q_e 4, que ocasionou aumento de sua nota. Dessa maneira o pastejo intensivo pode ter levado a uma deterioração na estrutura do solo.

Figura 12 – Imagens das estruturas do solo avaliadas e os *scores* médios da avaliação da estrutura do solo (VESS) sobre diferentes usos do solo.



*Médias seguidas por mesma letra, não diferem entre si pelo teste de t a 5%. Fonte: Autor (2019)

No uso do cultivo da soja a estrutura do solo obteve boa qualidade estrutural (2,75) segundo critérios do VESS, não diferindo da pastagem natural. O aumento da nota desses usos do solo foi por apresentarem agregados de nota 4 na camada subsuperficial. Tuchtenhagen et al., (2018) encontraram também pontuação de 2,5 para sistema de plantio direto, embora com menor presença de raízes que a pastagem. Justificaram a nota por causa dos agregados que foram facilmente quebráveis, pela alta porosidade (< 6mm) e baixa frequência de agregados com diâmetro >1cm. Isso pode ser visto na camada 0-10 cm (Figura

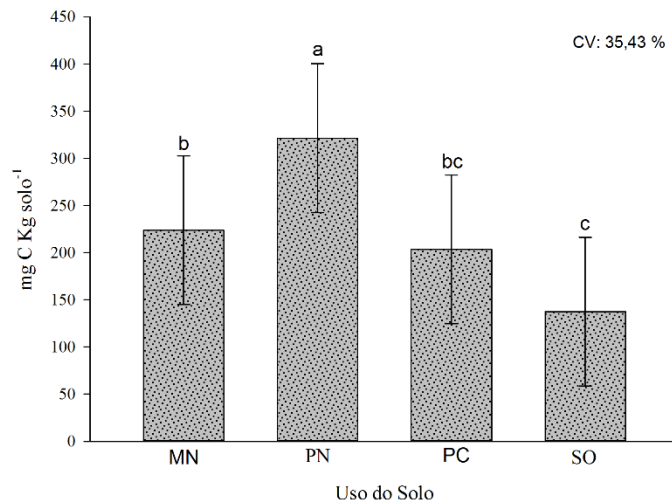
12) para o solo usado com soja. No entanto agregados mais firmes, menos porosos e mais angulosos são encontrados na subsuperfície deste solo.

4.2.2 Propriedades biológicas do solo

Dos diferentes manejos do solo estudados, os menores valores de carbono da biomassa microbiana foram encontrados no cultivo da soja e na pastagem cultivada (Figura 13), a mata nativa não se diferenciou da pastagem cultivada. A maior biomassa microbiana do solo foi para a pastagem natural (322 mg C Kg solo⁻¹).

O valor encontrado na biomassa microbiana em todos os usos do solo foi menor que 361 mg C kg solo⁻¹, valor referência para o teor de argila das áreas (DALAL, 1998; MATSUOKA, 2006). Valores baixos de carbono da biomassa microbiana indicam que o carbono disponível (oxidável) não é suficiente para atender a demanda para manutenção da biomassa existente nos sistemas estudados (D'ANDRÉA et al., 2002).

Figura 13 - Carbono da biomassa microbiana em diferentes manejos do solo MN (mata nativa), PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada) e SO (soja).



Barras indicam a diferença mínima significativa. Médias seguidas por mesma letra, não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autor (2019).

O maior valor da biomassa microbiana para a pastagem natural ocorreu pela estimulação das comunidades microbianas. Essa estimulação se deve pela pressão do pastejo e a entrada de material orgânico do solo (SATO et al., 2019). Outro motivo que estimula estes valores é a diversidade de espécies com diferentes graus de suscetibilidade à decomposição, condições favoráveis à microbiota do solo (SILVA et al., 2010). O efeito benéfico de maior

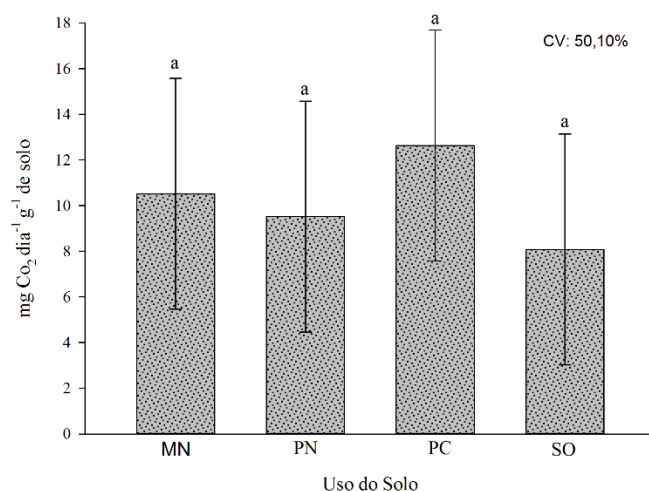
taxa da biomassa microbiana do solo é em relação a imobilização de nutrientes na biomassa microbiana sendo liberado aos poucos ao solo, contribuindo com a nutrição das plantas e sustentando os microrganismos do solo (BALOTA, 2017).

As gramíneas proporcionam maior carbono da biomassa microbiana na pastagem natural, com maior diversificação de raízes o que aumenta a rizosfera do solo. Aliado ao pastejo do gado, ocorre o corte da parte aérea das plantas, provocando liberação de exsudatos radiculares, que favorece a biomassa microbiana do solo utilizando esses compostos como fonte de carbono para seu desenvolvimento (SOUZA et al., 2010).

A transição dos ambientes naturais para o da pastagem cultivada e soja tende a diminuir a biomassa microbiana do solo. Em análise de diversos trabalhos sobre biomassa microbiana do solo, Roscoe et al. 2006 verificaram que uso do solo com pastagem cultivada e cultivos anuais, obtiveram, respectivamente, redução de 51% e 68% da BMC em relação a vegetação nativas.

A microbiota do solo é sensível às mudanças que ocorrem na implantação de novos ambientes (OLIVEIRA et al., 2016). Geralmente este valor é mais baixo em solos cultivados do que de vegetação nativa, pelo fato de estarem contaminados por substâncias orgânicas tóxicas ou metais pesados (MORAES, 2012). A substituição da vegetação nativa para ambientes agrícolas ocasiona distúrbios na comunidade microbiana ocorrendo perda de carbono da matéria orgânica do solo para a atmosfera pela intervenção antrópica nesses usos do solo (ALVES et al., 2011; GMACH, 2018; NAVROSKI et al., 2018).

Figura 14 – Respiração basal do solo sob diferentes usos do solo MN (mata nativa), PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada) e SO (soja).

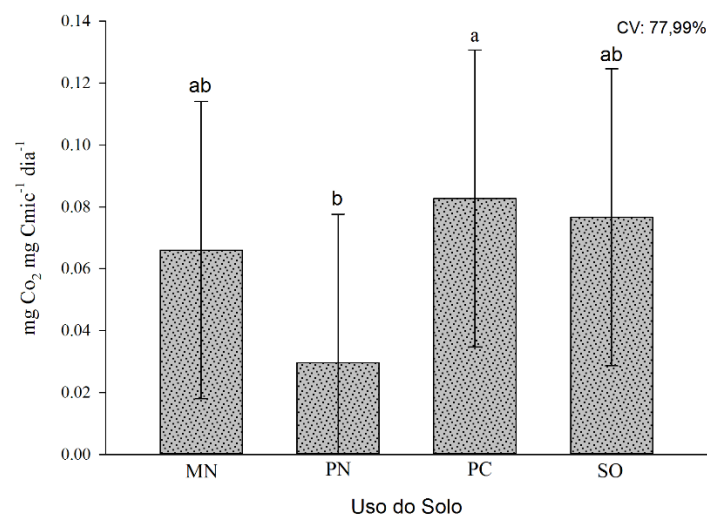


Barras indicam a diferença mínima significativa. Médias seguidas por mesma letra, não diferem entre si pelo teste t a 5%. Fonte: Autor (2019).

A respiração basal do solo não variou pela mudança do uso do solo (Figura 14), o que pode estar relacionada à permanência de resíduos vegetais na superfície e a conjuntura de não ter revolvimento do solo nos ambientes agrícolas para não se diferenciar dos ambientes naturais (BARBIERI et al., 2019). Para Silva et al. (2010) a respiração basal não foi um indicador eficiente para refletir o efeito dos diferentes sistemas de manejo do solo. Islam & Weil (2000) indicam o quociente metabólico e não a análise única da respiração basal do solo como indicativo mais consistente da melhora da qualidade do solo.

Verifica-se que a pastagem natural possui valor mais baixo para o qCO_2 que os demais usos do solo, porém não estaticamente da mata nativa e soja (Figura 15). A diminuição do quociente metabólico na pastagem natural, indica uma biomassa microbiana mais eficiente na utilização de sua energia, uma população estável em equilíbrio com recursos do ambiente (ISLAM & WEIL 2000; SILVA et al., 2007; ANDERSON & DOMSCH, 2010; BALOTA & CHAVES, 2011). Nessa situação, menos CO_2 é perdido pela respiração e maior quantidade de carbono é incorporada na biomassa microbiana (SILVA et al., 2007; BALOTA & CHAVES, 2011), justificando a maior quantidade de carbono da biomassa microbiana da pastagem natural em relação aos demais usos do solo.

Figura 15 – Quociente metabólico em função dos usos do solo MN (mata nativa), PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada) e SO (soja).



Barras indicam a diferença mínima significativa das médias. Médias seguidas por mesma letra, não diferem entre si pelo teste t 5%. Fonte: Autor (2019).

Valores de quociente metabólico com tendência mais alta para os demais usos do solo, podem estar relacionados a algum distúrbio do solo, diminuindo a eficiência do uso do carbono pela comunidade microbiana do solo (BALOTA et al., 2014).

4.2.3 Propriedades químicas do solo

A pastagem cultivada apresentou maior valor de pH_{água}, CTC_{efetiva} e saturação por bases, e menor para Al³⁺ e H⁺ + Al³⁺ (Tabela 7). O uso do solo para o cultivo da soja não apresentou diferença para pastagem natural no parâmetro pH_{água}, nas camadas 0,00-0,10 e 0,20-0,30 m. A saturação por bases, para soja, foi superior dos usos do solo pastagem natural e mata nativa, e inferior à pastagem cultivada, necessitando de calagem em seu ambiente para favorecer o crescimento das plantas (CQFS-RS/SC, 2016).

CHERUBIN et al. (2014) verificaram problema de acidez em 90% dos 27 usos do solo para cultivo da soja, fato que é influenciado, entre outros fatores, pela absorção de cátions pela cultura e posterior exportação na colheita. A maior acidez para cultivo da soja, em solo próximo a esta área de estudo, foi atribuída ao histórico relativamente recente de mudança do uso do solo da pastagem natural para o uso da cultura em sistema de plantio direto (NICOLODI, ANGHINONO & GIANELLO, 2008).

Os menores valores de pH_{água} e de saturação por bases foram para os ambientes de mata nativa e pastagem natural e, portanto, maiores valores de Al³⁺ trocável, H⁺ + Al³⁺ e saturação por Al³⁺. A soja não diferiu estatisticamente na variável Al³⁺ trocável da mata nativa na camada 0,20-0,30 m, assim como da variável H⁺ + Al³⁺ da pastagem natural na camada mais superficial (0,00 à 0,20 m) e da mata nativa na camada 0,00-0,10 m.

Nos ambientes mata nativa e pastagem natural não houve processo de calagem do solo, esperando-se ambientes mais ácidos para raízes das plantas. Pela característica da região de ter alta precipitação pluviométrica os cátions e ânions do solo são lixiviados. A mineralização da matéria orgânica pelos microrganismos e dos exudatos ácidos liberados pelas raízes das plantas tornam mais ácido o solo, elevando assim os teores de Al³⁺ trocável (BARRETO et al., 2006; BISSANI et al., 2008).

Os valores de Ca²⁺ e Mg²⁺, Tabela 8, contribuíram para elevar o valor de CTC nos usos da pastagem cultivada e da soja, sendo superiores à pastagem natural e mata nativa. Nas camadas 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, a pastagem cultivada foi superior aos demais tratamentos para CTC efetiva do solo e na camada 0,20-0,30 m a pastagem cultivada não diferenciou da soja.

Tabela 7 - Valores de acidez do solo e CTC nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, sobre diferentes usos do solo mata nativa (MN), pastagem natural (PN), pastagem cultivada (PC) e soja (SO).

Uso do Solo	pH _{água}	SMP	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	CTC		Saturação		
					Efetiva	pH7,0	Bases	Al	
					----- cmolc/L -----		----- % -----		
----- 0,00 a 0,10 (m) -----									
MN	4,49 c*	5,70 b	1,09 b	6,26 a	3,65 c	8,83 b	28,14 c	52,59 a	
PN	4,87 b	5,58 b	1,86 a	7,19 a	3,56 c	8,90 b	19,58 d	33,21b	
PC	6,54 a	5,59 b	0,00 d	2,10 b	9,12 a	11,22 a	81,05 a	0,00 d	
SO	4,96 b	6,64 a	0,73 c	7,13 a	5,77 b	12,17 a	42,05 b	13,10 c	
CV (%)	3,87	2,90	34,45	22,69	15,65	12,65	19,33	44,45	
DMS	0,19	0,16	0,30	1,24	0,83	0,43	7,93	10,56	
----- 0,10 a 0,20 (m) -----									
MN	4,54 c	5,77 b	1,55 c	9,09 a	2,50 c	6,78 b	13,04 c	64,86 a	
PN	4,82 c	5,38 c	2,07 d	5,82 b	3,55 c	10,57 a	14,39 c	58,14 a	
PC	6,24 a	5,70 b	0,08 d	2,78 c	7,07 a	9,77 a	70,67 a	1,48 c	
SO	5,19 b	6,43 a	1,04 b	6,30 b	5,64 b	10,90 a	42,10 b	19,88 b	
CV (%)	6,36	3,86	38,75	26,18	23,75	18,10	25,12	28,30	
DMS	0,32	0,22	0,44	1,51	1,07	1,65	8,45	9,81	
----- 0,20 a 0,30 (m) -----									
MN	4,59 c	5,93 b	1,49 b	4,84 c	2,03 c	5,38 c	9,52 c	74,96 a	
PN	4,84 bc	5,47 d	2,22 a	8,00 a	3,59 b	9,37 ab	14,62 c	62,07 b	
PC	5,78 a	6,14 a	0,40 c	3,96 c	5,42 a	8,99 b	55,61 a	8,97 d	
SO	5,17 b	5,73 c	1,12 b	6,00 b	5,28 a	10,17 a	40,81 b	21,71 c	
CV (%)	6,79	3,56	35,08	18,35	17,90	11,09	30,46	25,11	
DMS	0,33	0,20	0,44	1,00	0,70	0,90	8,81	10,11	

* Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Al³⁺ - Alumínio

A pastagem cultivada e a soja apresentaram maiores valores para Ca²⁺ e Mg²⁺ que o uso do solo mata nativa e pastagem natural (Tabela 8). A pastagem cultivada apresentou maior taxa de Ca²⁺ nas camadas 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, e de Mg²⁺ em todas as camadas. A adubação e calagem adequada nos sistemas de manejo do solo proporciona aumento de Ca²⁺ em profundidade do solo (DA ROS et al., 2017), situação notável nos usos do solo onde aconteceu adubação, beneficiando a qualidade química do solo. Ainda de acordo com os autores, Ca²⁺ em profundidade é importante para aumentar o desenvolvimento radicular em profundidade e, conseqüentemente, o fornecimento do nutriente para às plantas.

Os teores de K^+ não se diferenciaram na camada superficial para os diferentes usos do solo (Tabela 8). Na camada 0,10-0,20 m houve aumento de K^+ para pastagem cultivada e na camada 0,20-0,30 m para pastagem natural e cultivada. Nessa última camada, a pastagem cultivada não variou dos usos do solo com teor baixo de K^+ (soja e mata nativa).

O maior teor de potássio na camada superficial do solo está ligado diretamente aos manejos do solo, onde a aplicação superficial de fertilizantes, o não revolvimento do solo e a manutenção da palhada e material orgânico favorecem o acúmulo na superfície e formam um gradiente decrescente de concentração, com o aumento da profundidade do solo (FERREIRA et al., 2009). Jakelaitis et al. (2008) também encontraram teores elevados de potássio na camada 0,00-0,10 m do solo em usos do solo de mata nativa, pastagem e cultivos anuais.

Tabela 8 – Taxa de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em diferentes usos do solo do Latossolo Vermelho distrófico.

Uso do Solo	P	K	Ca	Mg
	----- mg/L -----		----- cmolc/L -----	
----- 0,00 a 0,10 (m) -----				
Mata Nativa	10,06 a	62,67 a	1,87 c	0,53 c
Pastagem Natural	2,10 b	78,67 a	0,89 d	0,62 c
Pastagem Cultivada	10,07 a	92,67 a	5,71 a	3,17 a
Soja	12,83 a	82,40 a	3,58 b	1,24 b
CV (%)	59,00	44,34	23,16	21,53
DMS	4,96	33,68	0,67	0,29
----- 0,10 a 0,20 (m) -----				
Mata Nativa	3,00 b	33,33 b	0,63 c	0,23 c
Pastagem Natural	1,58 c	29,87 b	0,83 c	0,48 c
Pastagem Cultivada	3,73 b	67,33 a	4,42 a	2,50 a
Soja	5,15 a	35,47 b	3,44 b	1,06 b
CV (%)	37,00	55,91	38,99	31,05
DMS	1,25	22,28	0,87	0,32
----- 0,20 a 0,30 (m) -----				
Mata Nativa	3,33 a	21,47 b	0,37 b	0,11 c
Pastagem Natural	1,53 b	54,13 a	0,82 b	0,31 c
Pastagem Cultivada	2,24 b	30,53 ab	3,13 a	1,81 a
Soja	2,33 b	26,40 b	2,96 a	1,14 b
CV (%)	41,00	75,78	34,82	35,32
DMS	0,93	24,11	0,61	0,29

*Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de t, ao nível de 5% probabilidade de erro.

Valores superiores de potássio para pastagem estão vinculados à criação de bovinos nesses ambientes que favorece o ciclo do potássio, pois 70 à 90 % do potássio retorna para o solo excretado pela urina, o qual é liberado à solução do solo e prontamente disponível para ser absorvido pelas raízes das plantas (HAYNES & WILLIAMS, 1993). Para a cultura da soja, ocorre a diminuição dos teores do potássio pela exportação do elemento na colheita da soja (FERREIRA et al., 2009).

O cultivo da soja, pastagem cultivada e mata nativa obtiveram teores alto, médio e alto, respectivamente, de fósforo na camada 0,00-0,10m (Tabela 8) segundo o manual de adubação e calagem do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016), sendo superiores a menor taxa desse macronutriente, que foi para a pastagem natural. A soja obteve maior teor de fósforo na camada 0,10-0,20 m, e a mata nativa foi superior na camada 0,20-0,30m.

A maior concentração de fósforo na primeira camada do solo se deve pela adubação fosfatada na pastagem cultivada e na cultura da soja (SANTOS, GATIBONI & KAMINSKI, 2008) e decomposição do material orgânico na mata nativa (FERNANDES, 2005), onde o fósforo é um dos nutrientes com liberação mais rápida dos resíduos vegetais (PACECHO et al., 2013).

Em locais sem adubação fosfatada, no caso da pastagem natural, as formas orgânicas são fontes de P para as plantas, porém o fornecimento é inferior à demanda necessária (SANTOS, GATIBONI & KAMINSKI, 2008). A saída de fitomassa do sistema, sem a reposição de fósforo no solo com fonte alternativa, contribui para redução do elemento na pastagem natural, Tabela 8 (BARRETO et al., 2006; CHERUBIN et al., 2016).

A mobilidade do fósforo no solo é baixa, podendo se apresentar em acúmulo na camada superficial, principalmente em sistema de plantio direto (SANTOS, GATIBONI & KAMINSKI, 2008). Isto, aliado à manutenção de resíduos na superfície do solo, favorece a ciclagem de fósforo, contribuindo para o incremento na camada superficial do solo (FALLEIRO et al., 2003).

Jakelaitis et al. (2008) não encontraram diferença entre os ambientes estudados, com baixo nível de fósforo e atribuíram os baixos índices à pobreza natural do solo que, mesmo com adubação fosfatada, não variou de um ambiente para o outro. SANTI (2007) verificou incremento de fósforo em ambientes agrícolas (soja e pastagem) em relação aos tratamentos referência (mata nativa e campo nativo).

Nota-se que a taxa de fósforo em todos os usos da terra diminuiu de acordo com a profundidade do solo. Isto pode ser atribuído à deficiência dos solos da região tem deste nutriente naturalmente (SANTI, 2007). Outro fator a ser considerado é a aplicação inadequada

nos usos do solo de sistema plantio direto (pastagem cultivada e cultura da soja), que aumenta o teor na camada superficial e não tem corrigido a deficiência desse nutriente em profundidade do solo, onde há o desenvolvimento radicular das plantas (BARRETO et al., 2006; SANTOS, GATIBONI & KAMINSKI, 2008).

Entretanto, quantidade superior de fósforo na superfície torna-o suscetível a ser perdido pela erosão do solo, diminuindo sua concentração para as plantas e podendo causar impactos negativo ao meio ambiente pelo potencial poluidor do fósforo em águas superficiais e subterrâneas (DA ROS et al., 2017). A diminuição do fósforo em profundidade, diminui o potencial das plantas em absorverem esse nutriente. É vantajoso ter quantidade adequada de fósforo em subsuperfície, pois as raízes podem explorar quantidade maior de solo com presença adequada desse nutriente, beneficiando o rendimento das plantas (DA ROS et al., 2017; CORASSA et al., 2018).

4.2.4 Considerações finais Latossolo Vermelho distrófico

A modificação do ambiente natural para utilização como sistema agrícola, seja na criação de gado e/ou cultivo da soja, influenciou negativamente as propriedades físicas do solo. A pastagem cultivada e a cultura da soja obtiveram macroporosidade menor de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Os *scores* do VESS foram superiores para pastagem cultivada, apresentando agregados sem porosidade, característicos de compactação.

As propriedades biológicas foram beneficiadas para o uso do solo pastagem natural em relação aos demais usos, com a maior taxa do carbono da biomassa microbiana e o menor quociente metabólico.

As práticas de manejo do solo na pastagem cultivada favoreceram as propriedades químicas do solo. Adubação e calagem realizada na soja fez com que o teor de fósforo, cálcio e magnésio aumentassem, juntamente com a CTC do solo. A mata nativa e o campo nativo obtiverem os maiores valores de acidez do solo.

4.3 ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO

4.3.1 Propriedades físicas do solo

A soja e a pastagem cultivada apresentaram valores mais elevados de densidade do solo e menores de porosidade total que a pastagem natural (Tabela 9). Esses dois sistemas de

uso do solo com interferência antrópica mais ativa, tendem a ter as partículas do solo mais adensadas que a pastagem natural e serem suscetíveis a erosão (RIBEIRO et al., 2007).

Luz et al. (2019) e Silva et al. (2014) verificaram também aumento da densidade e menor porosidade total pela substituição da vegetação nativa para plantio direto e pastagem cultivada. O campo nativo pastejado obteve menor densidade do solo em relação a integração lavoura pecuária com e sem pastejo, verificando o aumento da densidade com a utilização agrícola do solo (CARVALHO et al., 2016). Por sua vez, a densidade do solo é afetada pelo manejo inadequado do solo (MAZURANA et al., 2017).

Na camada 0,10-0,20 m do uso com soja, percebe-se aumento da densidade do solo ($1,76 \text{ Mg m}^{-3}$) em relação à primeira camada ($1,56 \text{ Mg m}^{-3}$). Valores menores na camada superficial se devem ao acúmulo de resíduos orgânicos e à presença de raízes nesse sistema (REICHERT et al., 2009; TUCHTENHAGEN et al., 2018). O manejo do solo no sistema plantio direto eleva a densidade do solo para níveis considerados restritivos ao crescimento radicular ($1,75 \text{ Mg m}^{-3}$) nos Argissolos Vermelhos (REINERT et al., 2008). Valores elevados da densidade do solo foram observados também por Mentges (2010) de 0,00-0,20 m e para Reinert et al. (2008) de 0,05-0,30 m em Argilossos Vermelhos. A influência do tráfego de máquinas que adensam o solo. O aumento da densidade e diminuição da porosidade na segunda camada pode estar relacionado também ao processo de consolidação do solo e rearranjo interno da estrutura pelos ciclos de umedecimento e secagem (REICHERT et al., 2009).

Na primeira camada a maior macroporidade foi para pastagem cultivada e a menor para pastagem natural, porém acima do nível crítico nos dois locais (Tabela 9), a soja não se diferenciou nem da maior e nem da menor quantidade de macroporos. Na camada 0,10-0,20 m os maiores volumes de macroporos foram para pastagem cultivada e natural e os menores para soja ($0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Valores de macroporos abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ conjunto com o aumento da densidade do solo ($1,76 \text{ Mg m}^{-3}$) determina uma camada compactada na soja, ocorrendo impedimento de crescimento radicular das plantas (KLEIN, 2008; REINERT et al., 2008; SILVA et al., 2010).

A maior quantidade de macroporos em 0,20-0,30 m foram para pastagem cultivada e natural, pelo fato de o pisoteio animal não ter efeito em camadas abaixo de 15 cm de solo, porém a pastagem natural não se diferenciou do menor volume de macroporos nessa camada, que foi a soja.

Mentges (2010) verificaram quantidade de macroporos menor que o valor crítico para as plantas, em sistema de plantio direto em um Argissolo. Nota-se que a soja obteve os

menores volumes de macroporos, porém só na camada 0,10-0,20 m o valor está abaixo do limite crítico ($0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).

Tabela 9 – Propriedades físicas do solo densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (Micro) e macroporosidade (Macro) influenciados pelos usos do solo nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.

Uso do Solo	Ds	Pt	Micro	Macro
	Mg m^{-3}	$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$		
----- 0,00 a 0,10 (m) -----				
Pastagem Natural	1,43 b	0,46 a	0,36 a	0,10 b
Pastagem Cultivada	1,57 a	0,40 b	0,25 c	0,15 a
Soja	1,56 a	0,41 b	0,28 b	0,13 ab
CV (%)	5,26	7,08	9,35	31,49
DMS	0,07	0,03	0,03	0,04
----- 0,10 a 0,20 (m) -----				
Pastagem Natural	1,41 c	0,46 a	0,33 a	0,13 a
Pastagem Cultivada	1,70 b	0,36 b	0,22 c	0,14 a
Soja	1,76 a	0,33 c	0,24 b	0,09 b
CV (%)	3,28	5,21	6,86	22,91
DMS	0,05	0,02	0,02	0,03
----- 0,20 a 0,30 (m) -----				
Pastagem Natural	1,40 b	0,47 a	0,32 a	0,15 ab
Pastagem Cultivada	1,68 a	0,37 b	0,21 c	0,16 a
Soja	1,72 a	0,35 b	0,24 b	0,12 b
CV (%)	3,91	5,99	7,10	23,85
DMS	0,06	0,02	0,02	0,03

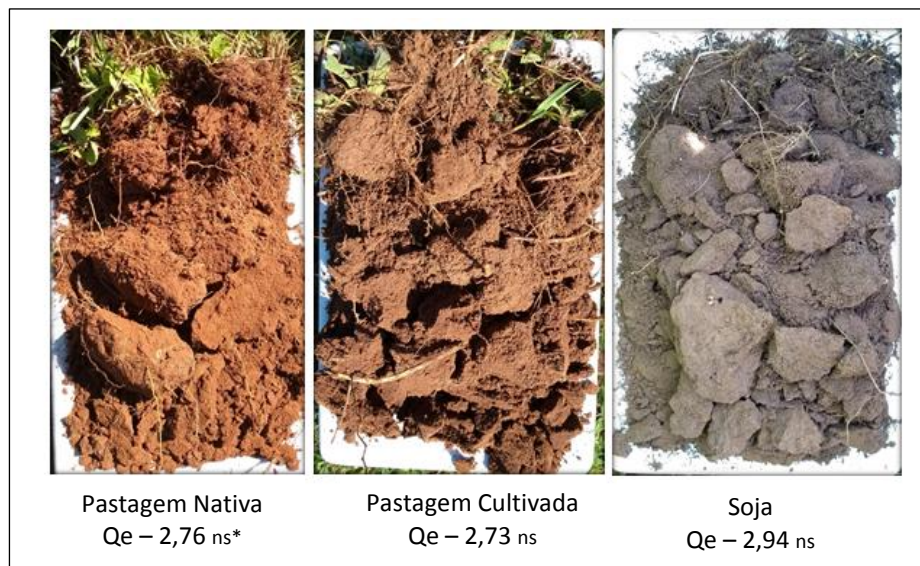
* Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de t, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Mesmo em condição de pastagem natural ocorre a redução dos macroporos pela frequência do pastejo animal em condições de umidade alta. O mesmo ocorre na soja com o tráfego de máquinas (MAZURANA et al., 2017). O manejo inadequado da pastagem e do rebanho faz com que ocorra degradação do solo no bioma pampa gaúcho (DICK, SHUMACHER & MOMOLLI, 2016).

A maior quantidade de microporosidade foi para pastagem natural e os menores valores para pastagem cultivada. A relação da diminuição da macroposidade e aumento da microporosidade, como verificado na pastagem natural, indica presença de agregados de baixa estabilidade (MAZURANA et al., 2017), o que reflete na avaliação visual (Figura 16). Alterações nas matrizes dos poros alteram o fluxo de água, aeração do solo e o crescimento radicular, afetando a estrutura do solo (MENTGES et al., 2016).

Para avaliação da estrutura do solo (VESS) os diferentes manejos do solo não degradaram a estrutura, apesar de serem observados alguns agregados maiores, os mesmos continham raízes e poros (Figura 16). Os Q_e foram de 2,76 para pastagem natural, 2,73 para pastagem cultivada e 2,94 para a soja sem a ocorrência de diferença estatística entre os usos. Segundo Ball et al. (2017), Q_e inferior a 3,00 indica uma boa qualidade estrutural do solo, propiciada pela presença de resíduos vegetais, ausência de revolvimento do solo e maior teor de matéria orgânica na superfície (TUCHTENHAGEN et al., 2018).

Figura 16 - Imagens das estruturas do solo avaliadas e os *score* médios da avaliação da estrutura do solo (VESS) sobre diferentes usos do solo.



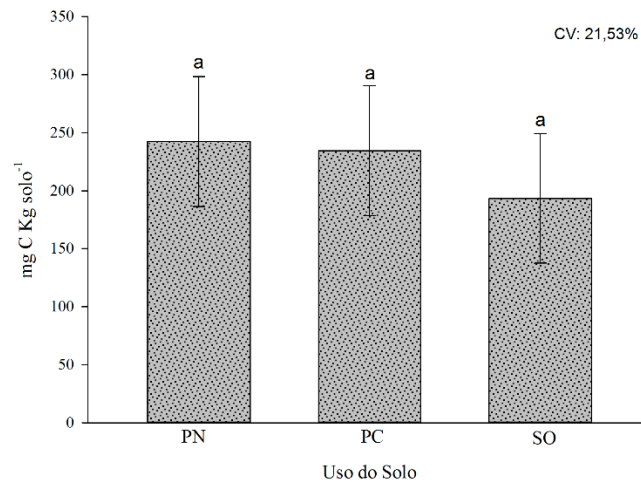
* As médias não diferenciaram entre si pelo teste t a 5% de probabilidade de erro.

A implantação recente da soja manteve as características da qualidade estrutural do solo em comparação com os usos intensivos da pecuária. Os efeitos benéficos para o uso do solo da soja no sistema plantio direto se deve à permanência de palhada na superfície, aumento do conteúdo de matéria orgânica, da atividade biológica do solo, sistemas radiculares diferenciados favorecendo a preservação da estrutura do solo (SHARMA et al., 2013).

4.3.2 Propriedades biológicas do solo

A mudança do uso do solo não resultou em diferenças entre os manejos do solo para as propriedades biológicas carbono da biomassa microbiana (Figura 17), respiração do solo (Figura 18) e quociente metabólico (Figura 19).

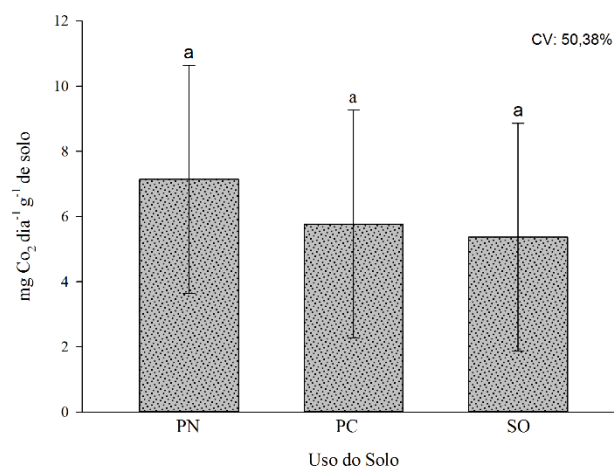
Figura 17 - Influência do Carbono da Biomassa Microbiana nos usos do solo PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada) e SO (soja).



* Barras indicam diferença mínima significativa. Médias seguidas de letras iguais, não diferem pelo teste de t, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autor (2019).

O acúmulo de carbono pela biomassa verificado para pastagem natural, pastagem cultivada e soja foram, respectivamente, 242,46, 234,44 e 183,02 mg C kg solo⁻¹ obtendo alta concentração de carbono microbiano no solo, considerando que o valor referência para o teor de argila das áreas é 83 mg C kg solo⁻¹ (DALAL, 1998). Se espera valores de biomassa microbiana relativamente maiores para vegetação nativa em comparação com outros usos do solo, pelo favorecimento da cobertura vegetal que proporciona maior acúmulo de material orgânico, desenvolvendo a comunidade microbiana (ALVES, et al., 2011).

Figura 18 - Influência da respiração basal do solo sobre usos do solo PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada) e SO (soja).

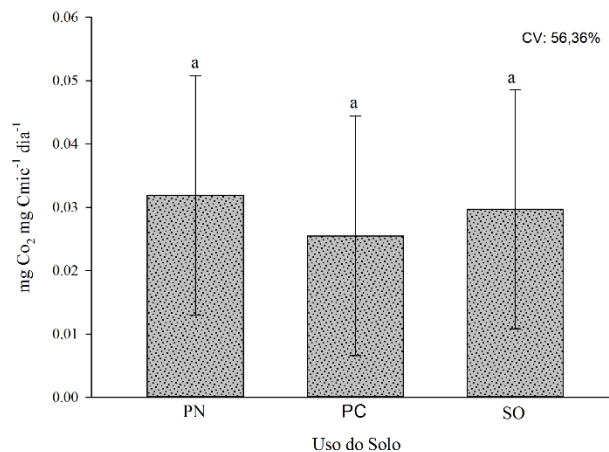


* Barras indicam diferença mínima significativa. Médias seguidas de letras iguais, não diferem pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autor (2019).

A concentração de resíduos orgânicos na superfície do solo favorece sua biomassa microbiana, um fornecimento contínuo de materiais orgânicos com maior susceptibilidade à decomposição e uma menor amplitude de temperatura e umidade (FONSECA et al., 2007; KUNDE, 2016). Pela ausência do revolvimento nos usos do solo e a permanência da cobertura vegetal ocorreu favorecimento da biomassa microbiana. Maiores valores de carbono da biomassa microbiana em campo nativo foram atribuídos aos diferentes graus de decomposição dos materiais orgânicos, o que estimula a população microbiota do solo (KUNDE, 2016)

A quantidade de biomassa microbiana em todos os usos do solo, pode estar relacionada ao baixo quociente metabólico, onde menos carbono é perdido para atmosfera e mais carbono é incorporado nos tecidos microbianos, indicando população adaptada aos manejos do solo (SILVA et al., 2007; BALOTA & CHAVES, 2011; COLODEL et al. 2018).

Figura 19 - Influência do quociente metabólico usos do solo PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada) e SO (soja).



* Barras indicam diferença mínima significativa. Médias seguidas de letras iguais, não diferem pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autor (2019).

Lisboa et al. (2012) não verificaram diferença na respiração basal ao avaliarem a qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo, em comparação entre campo nativo (CN) e sistema com plantio direto (PD). Os mesmos autores concluíram que, em termos de respiração microbiana, existiu equivalência entre estes sistemas no referido estudo. Pode-se atribuir a ausência de diferença significativa para qCO₂ ao alto coeficiente de variação (78 %) que é característico para essa variável microbiológica (CHERUBIN et al., 2015a).

4.3.3 Propriedades químicas do solo

Os usos do solo soja e pastagem cultivada apresentaram aumento no pH e saturação por bases e diminuição para Al^{3+} trocável e Saturação por Al^{3+} em relação a pastagem natural (Tabela 10). Os indicadores químicos $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$, $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ na camada 0,10-0,20m e SMP para camada 0,00-0,10 m, não se diferenciaram entre os usos do solo.

O baixo pH para o uso do solo de pastagem natural pode estar relacionado à acidez ativa natural do solo e à composição do campo nativo. Segundo ROSA et al., 2018, grande presença de leguminosas na composição da vegetação de campo nativo tem efeito nos baixos valores de pH com liberação de exsudatos ácidos pelas raízes.

Tabela 10 – Valores de acidez do solo e CTC nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, sobre diferentes usos do solo pastagem natural (PN), pastagem cultivada (PC) e soja (SO).

Uso do Solo	pH _{Água}	SMP	Al^{3+}	$\text{Al}^{3+}+\text{H}^+$	CTC		Saturação	
					Efetiva	pH7,0	Bases	Al
----- cmolc/L -----								
----- % -----								
----- 0,00 a 0,10 (m) -----								
PN	4,86 b	6,11 a	0,89 a	3,88 a	2,14 b	5,16 a	23,86 b	46,81 a
PC	5,51 a	6,33 a	0,10 b	3,22 a	2,80 ab	5,93 a	46,64 a	3,36 b
SO	5,64 a	6,34 a	0,08 b	3,17 a	3,86 a	6,92 a	53,48 a	1,66 b
CV (%)	7,64	4,41	54,60	37,18	37,28	33,42	24,25	49,81
DMS	0,40	0,27	0,19	1,24	1,06	1,95	9,75	8,95
----- 0,10 a 0,20 (m) -----								
PN	4,72 c	5,98 b	1,26 a	4,53 a	2,10 a	5,37 a	14,80 c	62,92 a
PC	5,27 a	6,50 a	0,41 b	2,59 b	2,49 a	4,64 a	44,46 a	18,17 b
SO	5,04 b	6,12 b	0,66 b	3,82 a	2,36 a	5,48 a	31,18 b	27,51 b
CV (%)	3,94	3,31	37,97	21,92	18,10	17,65	30,15	41,18
DMS	0,19	0,20	0,29	0,78	0,41	0,89	8,84	14,50
----- 0,20 a 0,30 (m) -----								
PN	4,70 c	5,89 b	1,44 a	5,03 a	2,13 b	5,69 a	11,42 b	70,08 a
PC	5,26 a	6,36 a	0,50 c	2,97 b	2,63 a	5,08 a	41,43 a	18,13 c
SO	4,88 b	6,34 a	0,97 b	3,27 b	2,69 a	4,83 a	37,94 a	36,17 b
CV (%)	3,64	4,41	36,97	25,71	20,20	17,00	43,97	35,69
DMS	0,17	0,27	0,36	0,94	0,49	0,86	13,11	15,47

* Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Al^{3+} – Alumínio.

A pastagem cultivada obteve menores teores de Al^{3+} , $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$, saturação por Al^{3+} e maior saturação por bases que a pastagem natural, demonstrando a potencialização para o

beneficiamento do campo nativo com aplicação de calcário realizado nesta área (Tabela 2). Vinte e cinco por cento da dose recomendada de calcário favoreceu a pastagem natural nessas propriedades em trabalho desenvolvido por Prestes et al. (2016). Quando a pastagem é explorada sem manejo adequado a saturação por bases e o pH diminuem, causando degradação do solo (CHERUBIN et al., 2015b).

Atividades agrícolas com manejo incorreto promovem impacto negativo nas propriedades do solo (SILVA et al. 2007). Nota-se o resultado da Tabela 10 que o manejo e as práticas agrícolas adotadas nos usos do solo soja e pastagem cultivada favoreceram a qualidade química do solo.

Melhorias nas propriedades químicas do solo na pastagem natural foram observadas por Prestes (2015) pelo aumento do pH, saturação por bases e diminuição do teor de Al^{3+} com o aumento das doses de calcário com pronunciadas melhorias. Ainda, segundo o autor as pastagens naturais respondem positivamente à aplicação de calcário, sendo recomendável esta prática para melhorar a qualidade do solo, favorecendo principalmente a camada superficial do solo.

O uso do solo da soja obteve maior quantidade de fósforo em comparação à pastagem natural e cultivada (Tabela 11). As pastagens naturais provenientes do bioma pampa apresentam baixo teor desse nutriente (OLIVEIRA et al., 2014). Incremento nos teores de fósforo para a soja se justificam pela adubação fosfatada com adição anual e a manutenção dos resíduos de plantas na superfície do solo, favorecendo a ciclagem do fósforo (GATIBONI et al., 2000; PRESTES, 2015; LUZ, 2017). A maioria dos solos sob pastagem natural da depressão central do Rio Grande do Sul apresentam baixos teores de matéria orgânica, com deficiência de fósforo (STRECK et al., 2008; PRESTES, 2015).

Melhorar as propriedades químicas das pastagens naturais com aplicação de nutrientes beneficia o desenvolvimento das plantas do bioma pampa. Com a incorporação de doses de fósforo há um aumento linear no crescimento das gramíneas (PRESTES et al., 2016).

Os valores de potássio não apresentaram diferença entre os usos do solo. Como analisado por Rosa et al. (2018) que os níveis de potássio não apresentaram alterações com a instalação de povoamento de *Eucalyptus dunnii* em campo nativo no bioma pampa.

Valores superiores de cálcio foram verificados para os usos do solo pastagem cultivada e soja. O teor de magnésio na camada 0,00-0,10 m foi superior para a soja e pastagem cultivada. Nas camadas subsuperficiais a pastagem cultivada obteve a maior quantidade de magnésio.

Tabela 11 – Teor de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em diferentes usos do solo.

Uso do Solo	P	K	Ca	Mg
	----- mg/L -----		----- cmolc/L -----	
	----- 0,00 a 0,10 (m) -----			
Pastagem Natural	2,02 b	66,67 a	0,68 c	0,42 b
Pastagem Cultivada	3,15 b	99,33 a	1,61 b	0,81 a
Soja	5,66 a	68,27 a	2,63 a	0,98 a
CV (%)	51,38	46,27	45,17	52,11
DMS	1,86	35,15	0,72	0,37
	----- 0,10 a 0,20 (m) -----			
Pastagem Natural	1,20 b	41,10 a	0,49 b	0,20 c
Pastagem Cultivada	1,40 b	58,53 a	1,26 a	0,66 a
Soja	4,19 a	48,90 a	1,10 a	0,46 b
CV (%)	56,64	45,75	35,19	37,49
DMS	1,25	23,22	0,32	0,16
	----- 0,20 a 0,30 (m) -----			
Pastagem Natural	1,00 b	40,93 a	0,43 b	0,14 c
Pastagem Cultivada	1,30 b	57,46 a	1,28 a	0,74 a
Soja	3,05 a	57,87 a	1,06 a	0,39 b
CV (%)	63,63	53,18	48,68	58,57
DMS	1,10	26,95	0,44	0,24

*Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Os usos do solo alteram a dinâmica dos nutrientes do solo pela demanda das plantas e a deposição e decomposição da matéria orgânica. Essa elevação dos nutrientes no solo está relacionada com os efeitos da adubação e da liberação dos nutrientes pela decomposição das gramíneas existentes no campo anteriormente ao plantio (ROSA et al., 2018).

4.3.4 Considerações finais Argissolo Vermelho distrófico

Em se tratando de propriedades físicas, maior densidade do solo e menor porosidade total foram observadas em pastagem cultivada e cultura da soja. Entretanto, macroporos abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ foram observados somente na camada 0,10-0,20 m da soja. Os usos do solo mantiveram boa qualidade estrutural do solo de acordo com a análise do VESS.

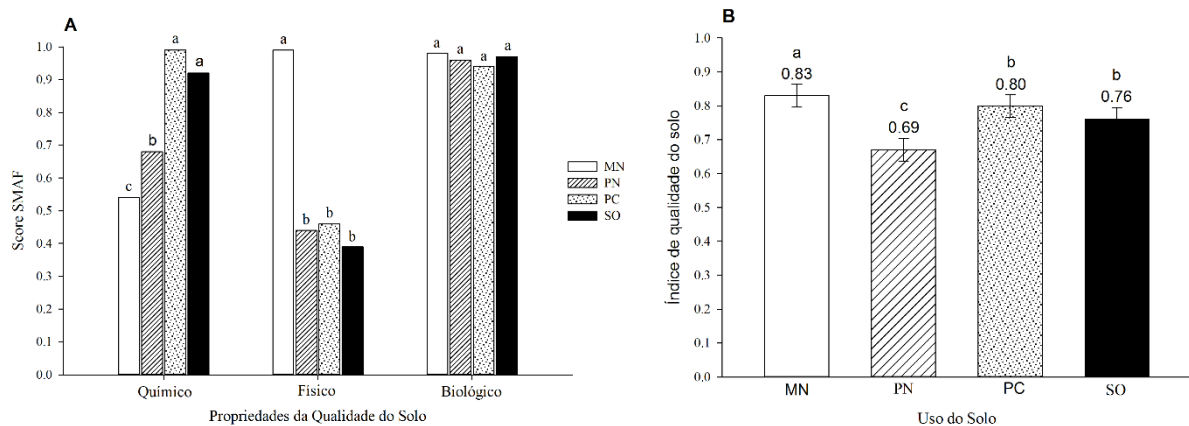
As propriedades biológicas carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo e quociente metabólico não se diferenciaram entre os usos do solo.

O manejo do solo na pastagem cultivada e na soja favoreceram as propriedades químicas, diminuindo os valores de Al^{3+} , $H^+ + Al^{3+}$, saturação por Al^{3+} e aumentando pH, saturação por bases, cálcio e magnésio. O manejo na soja aumentou a quantidade de fósforo no solo.

4.4 INDICES DE QUALIDADE DO SOLO

As alterações na qualidade do solo em função do seu uso foram mensuradas pelo SMAF. No Latossolo Vermelho distroférico conforme verifica-se na Figura 20b, a mata nativa apresentou maior qualidade do solo com índice de 0,83 ou 83 % do potencial de funcionamento do solo (Cherubin et al., 2016) e a pastagem natural apresentou a menor qualidade do solo (0,69), indicando os efeitos negativos do manejo da pastagem sobre o solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Luz et al. (2019), onde o maior índice de qualidade do solo foi observado na vegetação nativa para solos do Parará.

Figura 20 – Contribuição ponderada das propriedades do solo (A) e o índice de qualidade do solo (B), nos usos do solo MN (mata nativa), PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada), SO (soja) do Latossolo Vermelho distroférico.



* Médias seguidas de letras iguais, não diferem pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autor (2019)

Neste local, a soja e a pastagem cultivada apresentaram índice de qualidade do solo superior à pastagem natural, respectivamente, 0,76 e 0,80 (Figura 20b), sem, entretanto, diferirem significativamente. Este resultado remete ao efeito positivo da pastagem cultivada em comparação a pastagem natural, através do melhoramento dos sistema de manejo (HEBB et al., 2017; YU et al., 2018). Os valores elevados de pH, fósforo e potássio (Tabela 4 e 5)

contribuíram para o uso do solo com pastagem cultivada obter o maior *score* das propriedades químicas (Figura 20a), contribuindo para elevar o seu índice de qualidade do solo.

A cultura da soja no Latossolo Vermelho distroférico após 50 anos da mudança no uso do solo para o cultivo da soja obteve um índice de 0,76 (Figura 20b), desmostrando que o manejo realizado nesse tempo não reduz a qualidade do solo drasticamente. No trabalho de Cherubin, Tormena & Karlen (2017) observaram que uso do solo com cultivo de grãos após 20 anos obteve índice de qualidade do solo de 0,64, sendo também inferior à mata nativa (0,80).

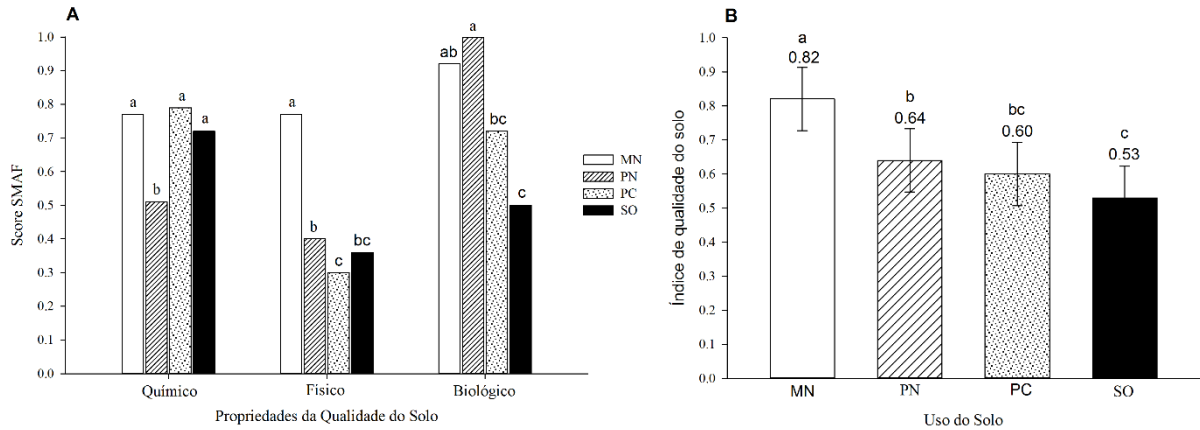
A maior qualidade do solo na mata nativa foi impulsionada pelas propriedades físicas (0,99) e biológicas (0,88) (Figura 20a). Entretanto, as baixas quantidades de fósforo e potássio (Tabela 4) contribuíram negativamente para o *scores* químicos de qualidade do solo na mata nativa. No uso do solo com pastagem cultivada e soja, justamente a propriedade química foi o que elevou a qualidade do solo. As propriedades químicas foram essenciais para o aumento da qualidade do solo em sistema de plantio direto, principalmente pelo fósforo proveniente da adubação (LUZ et al., 2019).

No entanto, a propriedade física da qualidade do solo apresentou um *score* baixo para pastagem cultivada (0,46) e para a soja (0,36), diminuindo assim a qualidade do solo e demonstrando que o manejo realizado nesses usos está compactando o solo. Esses resultados indicam que práticas de manejo do solo alternativas, que amenizem este adensamento, são necessárias para incrementar a qualidade do solo (CHERUBIN, TORMENA & KARLEN, 2017; COLODEL et al., 2018).

O uso do solo mata nativa obteve também o maior índice de qualidade do solo (0,82) no Latossolo Vermelho distrófico (Figura 21b), sendo superior aos demais usos do solo. O menor índice foi para a soja (0,53), a pastagem cultivada não se diferenciou do menor índice (soja) como verificado na Figura 21b. O baixo índice de qualidade do solo observado na soja, é em função da influência do manejo no local principalmente nos *scores* das propriedades físicas e biológicas (Figura 21a), porém superior a 50% da sua capacidade de funcionamento, em virtude da compensação do *score* químico (Figura 21a)

Mesmo com o impacto negativo na propriedade física, o elevado *score* para a propriedade química manteve a qualidade do solo em sistema plantio direto e uso da terra com pastagem em solos do Paraná (LUZ et al., 2019). Na África do Sul o cultivo de pastagem com perturbação no solo e uso de herbicida diminuiu a qualidade física e biológica (SWANEPOEL et al. 2015), o que pode ter acontecido no uso do solo com soja nesse no Latossolo Vermelho distrófico.

Figura 21 - Contribuição ponderada das propriedades do solo (A) e o índice de qualidade do solo (B) nos usos do solo MN (mata nativa), PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada), SO (soja) do Latossolo Vermelho distrófico.



* Médias seguidas de letras iguais, não diferem pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autor (2019).

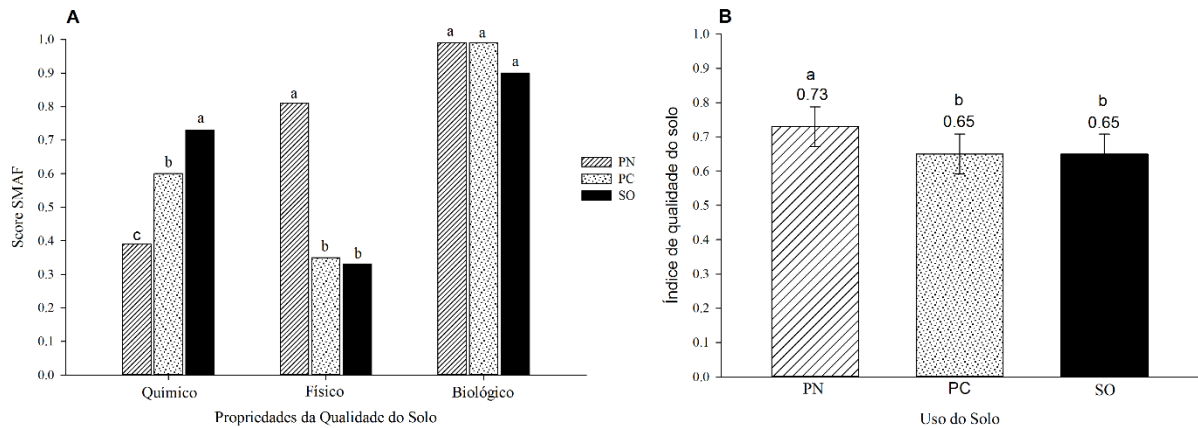
O impacto do pastoreio animal sobre a propriedade física do solo pode ser verificado pelo baixo *score* desta propriedade no solo com pastagem cultivada e nativa (Figura 21a). Porém as propriedades biológica e química apresentaram índices superiores a 70%, elevando a qualidade do solo na pastagem cultivada. A pastagem quando bem manejada, mantém a qualidade química e biológica do solo, suavizando a degradação do solo (LUZ et al., 2019).

No Argissolo Vermelho distrófico o maior índice de qualidade do solo foi encontrado na pastagem nativa (0,73), sendo superior aos índices de qualidade da pastagem cultivada e do uso do solo com soja, que apresentaram IQS médios de 0,65 (Figura 22b). O menor índice de qualidade do solo nestas áreas deve-se a propriedade física, que foi o que mais sofreu interferência negativa pelo manejo das áreas de pastagem cultivada e soja (Figura 22a). As propriedades físicas do solo influenciaram para que o campo nativo obtivesse maior índice de qualidade do solo em relação a pastagem e a soja (HEBB et al., 2017). Embora os índices das propriedades físicas sejam menores nesses dois usos do solo, as correções químicas realizadas pelas práticas agrícolas beneficiaram a qualidade do solo, apresentando uma capacidade de funcionamento superior a 60% (Figura 22b).

Nesta região, o recente período de implantação do cultivo da soja (3 anos) não implicou numa perda acentuada da qualidade do solo. Estes resultados indicam que a implantação da cultura com manejo adequado do solo em áreas mais suscetíveis à degradação, possuem potencial para manter a qualidade do solo, da mesma forma que um campo nativo melhorado quimicamente e com uma carga animal maior. A adoção do sistema plantio direto

associado ou não com ao sistema de integração lavoura-pecuária aumenta o índice de qualidade do solo, pelo acréscimo das propriedades biológicas do solo e melhoria da fertilidade química, com ponderações sobre os efeitos da compactação influenciando negativamente a propriedade física (CHERUBIN et al., 2017; LUZ et al. 2019). No entanto, estes resultados são o oposto dos verificados por YU et al. (2018), onde a conversão a curto prazo da pastagem em terras agrícolas em Cambissolo no continente asiático resultou na degradação indesejável da qualidade do solo.

Figura 22 - Contribuição ponderada das propriedades do solo e o índice de qualidade do solo nos usos do solo PN (pastagem natural), PC (pastagem cultivada), SO (soja) do Argissolo Vermelho distrófico.



* Médias seguidas de letras iguais, não diferem pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autor (2019).

O SMAF foi capaz de identificar alterações na qualidade do solo nas diferentes regiões produtoras de soja do Rio Grande do Sul. Contudo, a região tradicional de cultivo (Latossolo Vermelho distroférico) obteve índice de qualidade do solo de 0,76, sendo o maior índice entre as regiões para soja, possuindo potencial para manter a qualidade do solo após longo período de manejo da cultura. Melhorias na qualidade do solo nos Estados Unidos, já haviam sido encontradas por Karlen et al. (1994) investigando quantidade de resíduos no solo, onde relataram o incremento de 0,45 para 0,86 em mais de 10 anos do cultivo de milho no sistema de plantio direto, melhorando as qualidades física, química e biológica devido ao maior aporte de resíduos no solo.

O cultivo de grãos em regiões de solo mais arenoso, com formação sedimentar, diminuiu a qualidade do solo no manejo com soja, onde o menor índice de todas as regiões foi justamente para o Latossolo Vermelho distrófico (0,52). Corrobora com o resultado de LUZ et al. (2019) para sistemas de plantio direto voltados para grãos, onde encontraram índice de

qualidade do solo de 0,87 para solo argiloso, 0,44 em franco-arenoso e 0,56 para arenoso. A expansão da soja em solos de textura franca arenosa ou arenosa, com a intensificação da atividade torna o uso do solo com soja mais suscetível à degradação (STRECK et al., 2018).

No Argissolo Vermelho distrófico, região de expansão da cultura da soja nas últimas décadas, após a transição de manejo do solo para o cultivo da soja ocorreu a manutenção de seu potencial de funcionamento em 65%, elevando o *score* químico, mantendo o *score* biológico, porém reduzindo o *score* físico do solo. Práticas de gestão do solo para beneficiar suas propriedades físicas devem ser implantadas nesses locais com a finalidade de favorecer a qualidade do solo. Manejos do solo que melhorem as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como o plantio direto, são indispensáveis para melhorar a qualidade em solos arenosos nos processos de expansão da agricultura (LUZ et al., 2019).

É fundamental a elevação do índice de qualidade do solo para o cultivo da soja, pois o mesmo tem correlação com a produtividade (OBADE & LAL, 2016). Logo práticas de manejo do solo que favoreçam a sua qualidade devem ser adotadas para o desenvolvimento da cultura em regiões mais suscetíveis à degradação do solo. A expansão da soja no Rio Grande do Sul segue constante, principalmente pela importância econômica que a cultura tem no PIB do estado e dos municípios, aliado ao incentivo da pesquisa brasileira no desenvolvimento de cultivares adaptadas a novos ambientes.

5 CONCLUSÃO

A mudança do uso do solo do ambiente natural para utilização com sistemas agrícolas, soja ou pastagens, afetou negativamente as propriedades físicas do solo. Os usos do solo soja e pastagem cultivada favoreceram as propriedades químicas do solo em relação à pastagem natural e mata nativa. Por sua vez, as propriedades biológicas no Latossolo Vermelho distrófico foram favorecidas pela pastagem natural em relação às demais, ao mesmo tempo em que não apresentaram diferenças nas demais classes de solos analisados.

A mata nativa tem melhor qualidade do solo para o Latossolo Vermelho distrófico e Latossolo Vermelho distroférico. A conversão deste uso do solo para pastagem cultivada, pastagem nativa e cultivo de soja reduz a qualidade do solo. A conversão recente da pastagem natural no Argissolo Vermelho distrófico para o uso de pastagem cultivada e soja reduz a qualidade do solo para 65% de seu potencial de funcionamento.

A quantificação da qualidade do solo realizada nesse trabalho, indica que a qualidade da propriedade física do solo é afetada no cultivo da soja e que medidas de controle que preservem esta qualidade devem ser tomadas para elevá-la.

O SMAF detectou mudanças na qualidade do solo através de seus diferentes usos nas regiões do Rio Grande do Sul estudadas, sendo uma promissora ferramenta para utilização na análise da qualidade do solo no estado.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. S. et al. Indicadores da qualidade do solo em cultivos irrigados de cana-de-açúcar. **Pesq. Agrop. Bras.**, v. 51, n. 9, p. 1539-1547, 2016.
- ALVES, T. S. et al. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum: Agronomy**. v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Soil microbial biomass: the eco-physiological approach. **Soil Biol. Biochem.** v. 42, p. 2039–2043, 2010.
- ANDREWS, S. S. et al. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. **Soil Science Society America Journal**. v. 68, p. 1945-62, 2004.
- ARAÚJO, A. S. F; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Biosci. J.**, Uberlândia, v.23, n.3, p.66-75, 2007.
- ATLAS SOCIOECONÔMICO RIO GRANDE DO SUL. **Conselhos Regionais de Desenvolvimento – COREDEs**. Porto Alegre, 2019. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/conselhos-regionais-de-desenvolvimento-coredes>>. Acesso em: 4 jul. 2019.
- BALL B. C. et al. Visual soil evaluation: A summary of some applications and potential developments for agriculture. **Soil Till Res.** v. 173, p. 114-124, 2017.
- BALL, B. C. et al. Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. **Soil Use Management**, v. 23, p. 329-337, 2007.
- BALOTA, E. L. et al. Benefits of winter cover crops and no-tillage for microbial parameters in a Brazilian Oxisol: A long-term study. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 197, p. 31–40, 2014.
- BALOTA, E. L.; CHAVES, J. C. D. Microbial activity in soil cultivated with different summer legumes in coffee crop. **Braz. arch. biol. technol.** v. 54, n. 1, p. 35-44, 2011.
- BALOTA, E.L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. 2017. 287p., Ed. 1.
- BARBIERI, M. et al. Ensaio sobre a bioatividade do solo sob plantio direto em sucessão e rotação de culturas de inverno e verão. **Rev. de Ciências Agrárias**, v. 42 n. 1, 2019.
- BARRETO, A. C. et al. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Caatinga**. v. 19, n. 4, p. 415-425, 2006.
- BISSANI, C. A. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2008. 344p., Ed. 2.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Bookman, 686 p., Ed. 3. 2013.

BRAZ, S. P. et al. Degradação de Pastagens, Matéria Orgânica do Solo e a Recuperação do Potencial Produtivo em Sistemas de Baixo “Input” Tecnológico na Região dos Cerrados. **Circular Técnica 9**. Embrapa. 2004.

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

CALONEGO, J.C. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Rev. Caatinga**. v. 25, n. 2, p. 128-135, 2012.

CAMPOS, A. G. et al. **Propriedades Físicas de um Latossolo Vermelho após Vinte Anos com Diferentes Sistemas de Preparo**. Sete Lagoas/MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2018. 29 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 240).

CARDOSO, E. L. et al. 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, p. 613-622, 2011.

CARVALHO, J. S. et al. Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. **Pesq. agropec. bras.** v. 51, n. 9, p. 1131-1139, 2016.

CHERUBIN, M. R. et al. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera**. v. 7, p. 196-210, 2011.

CHERUBIN, M. R. et al. Sampling grids used to characterise the spatial variability of pH, Ca, Mg and V% in Oxisols. **Rev. Ciênc. Agron.** v. 45, n. 4, p. 659-672, 2014.

CHERUBIN, M. R. et al. Qualidade física, química e biológica de um latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Rev. Bras. de Ciênc. do Solo**. v. 39, p. 615-625, 2015a.

CHERUBIN, M. R. et al. Sugarcane expansion in Brazilian tropical soils—Effects of land use change on soil chemical attributes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 211, p. 173–184, 2015b.

CHERUBIN, M. R. et al. 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 Brazilian Oxisols with Contrasting Texture. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. v. 41, e0160148, 2017.

CHERUBIN, M. R. et al. Assessing soil structural quality under Brazilian sugarcane expansion areas using Visual Evaluation of Soil Structure (VESS). **Soil & Till Research**, v. 173, p. 64-74, 2017.

COLLARES, G. L. et al. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 41, n. 11, p. 1663-1674, 2006.

- COLODEL, J. R. et al. Atributos físicos e biológicos de Argissolo Vermelho-Amarelo Amazônico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Rev. de Ciências Agrárias**. v. 41, n. 2, p. 287-297, 2018.
- 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.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: nono levantamento, junho 2018 – safra 2017/2018**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/monitoramento-agricola>> Acesso em 07 jul. 2019.
- CONCEIÇÃO, O. A. C. **A expansão da soja no Rio Grande do Sul 1950 - 75**. Porto Alegre: Fundação de Economia e Estatística, ed. 2, n. 6, 1984.
- CORASSA, G. M. et al. Soil chemical attributes restricting grain yield in Oxisols under no-tillage system. **Pesq. Agropec. Brasileira**. v. 53, n. 11, p. 1203-1212, 2018.
- CRUSCIOL, A. A. C. et al. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**. v. 67, p.481-489, 2008.
- CRUZ, G. H. T. et al. Propriedades físico-hídricas de um latossolo vermelho-amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. De Agric. Irrig.** v.12, n.6, p. 3002-2011, 2018.
- CUNHA, N. G. et al. Estudos dos Solos de Municípios do Alto Uruguai, RS. **Circular Técnica 88**, Embrapa Clima Temperado, 1 ed., 2009.
- DA ROS, C. O. et al. Disponibilidade de nutrientes e acidez do solo após aplicações sucessivas de água residuária de suinocultura. **Rev. Bras. de Tec. Agrop.** v. 1, n. 1, p. 35-44, 2017.
- DA SILVA, A. P. **Biomassa microbiana em diferentes sistemas de manejo do solo e de culturas típicas da região norte do Paraná**. 2008. 67f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, 2008.
- DALAL, R. C. Soil microbial biomass – What do the numbers really mean?. **Aust. J. Exp. Agric.** v. 38, p. 649-665, 1998.
- D'ANDRÉA, A. F. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do Estado de Goiás. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo**. v. 26, p. 913-923, 2002.
- DENARDIN, J. E. et al. Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista. **Documentos online 141**, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2012.

DICK, G.; SHUMACHER, M. V.; MOMOLLI, D. R. Caracterização da fertilidade do solo em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden no bioma Pampa do Rio Grande do Sul. **Ecologia e Nutrição Florestal**. v. 4, n. 3, p. 68-77, 2016

DOMINGUES, M. S. et al. O Arco de Desflorestamento na Amazônia: da Pecuária à Soja. **Ambiente & Sociedade**. v. 15, n. 2, p. 1-22, 2012.

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

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. **In:** DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, SSSA, p. 1-20, 1994.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. **Appl. Soil Ecol.** v.15, p.3-11, 2000.

EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. **Embrapa CNPS**, 2a. ed., p.212, 1997.

FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo**. v. 27, n. 6, p. 1097-1104, 2003.

FERNANDES, F. C. S. **Produção de liteira, concentração e estoque de nutrientes na floresta nativa e capoeira**. 2005. 83f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá/MT, 2005.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A Guide for Its Bootstrap Procedures in Multiple Comparisons. **Ciênc. Agrotec.** v.38, n. 2, p.109-112, 2014.

FERREIRA, E. V. O. et al. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo**. v. 33, p. 1675-1684, 2009.

FONSECA, G. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de latossolo vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 37, n. 1, p. 22-30, 2007.

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

GATIBONI, L. G. et al. Influência da adubação fosfatada e da introdução de espécies forrageiras de inverno na oferta de forragem de pastagem natural. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 35, n. 8, p. 1663-1668, 2000.

GIAROLA, N. F. B. et al. On the visual evaluation of soil structure: the Brazilian experience in Oxisols under no-tillage. **Soil Tillage Research**, v. 127, p. 60-64, 2013.

GMACH, M. R. et al. Soil organic matter dynamics and land-use change on Oxisols in the Cerrado, Brazil. **Geoderma Regional**. v.14, p. 1-8, 2018.

GONÇALVES, F. C.; MORAES, M. H. Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Irriga.** v. 17, n. 3, p. 337-345, 2012.

GUIMARÃES, R. M. L. et al. Improvements in the visual evaluation of soil structure. **Soil Use Management**, v.27, p. 395-403, 2011.

HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and fertility in the grazed pasture ecosystem. **Adv. in Agron.** v. 49, p. 119- 199, 1993.

HEBB, C. et al. Soil physical quality varied among contrasting land uses in Northern Prairie regions. **Agric. Ecosyst. Environ.** v. 240, p. 14-23, 2017.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems and Environment.** v. 79, n. 1, p. 9-16, 2000.

JAKELAITIS, A. et al. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesq. Agrop. Tropical.** v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil - V.A method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry.** v.11, n.3, p.193-199, 1976.

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

KARLEN, D. L. et al. Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. **Soil and Tillage Research.** v. 31, p. 149-167, 1994.

KARLEN, D. L. et al. Soil quality: A concept, definition, and Framework for evaluation (A Guest Editorial). **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 61, p.4-10, 1997.

KLEIN, V. A. **Física do Solo.** Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2008. p.

KLEIN, V. A. et al. Indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob plantio direto escarificado. **Ciência Rural.** v. 39, n. 9, p. 2475-2481, 2009.

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.

KUNDE, R. J. **Qualidade do solo em sistemas de integração lavoura- pecuária no Bioma Pampa.** 2016. 131f. Tese (Doutorado em Sistema de produção agrícola familiar) – Faculdade de agronomia Eliseu Maciel. Pelotas/RS, 2016.

LANZANOVA, M. E et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Rev. Bras. de Ciê. do Solo,** v.31, p.1131-1140, 2007.

LISBOA, B. B. et al. Biomassa microbiana, atividade e diversidade metabólica em um Argissolo sob diferentes manejos. **Pesq. Agrop. Gaúcha.** v. 18, n. 2, 2012.

LISBOA, I. P. et al. Applying Soil Management Assessment Framework (SMAF) on short-term sugarcane straw removal in Brazil. **Ind. Culturas Prod.** v. 129, p. 175–184, 2019.

LOURENZI, C. R. et al. Atributos químicos de Latossolo após sucessivas aplicações de composto orgânico de dejetos líquido de suínos. **Pesq. agropec. bras., Brasília.** v.51, n.3, p.233-242, 2016.

LUZ, F. B. **Indicadores da qualidade do solo em função do uso da terra.** 2017. 88f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Agricultura e Ambiente)- Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2017.

LUZ, F. B. et al. 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.

MARCHIORI JUNIOR, M.; MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 35, n .6, p. 1177-1182, 2000.

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.

MAZURANA, M. et al. Soil susceptibility to compaction under use conditions in southern Brazil. **Ciência e Agrotecnologia.** v. 41, n. 1, p. 60-71, 2017.

MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. **Química e mineralogia do solo:** Parte I – conceitos básicos. Viçosa: SBCS, 2009. 695p.

MENTGES, M. I. **Implicações do uso do solo nas propriedades físico-hídricas e mecânicas de um Argissolo Vermelho-amarelo e de um Gleissolo Háplico.** 2010. 108f. Dissertação (Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

MILINDRO, I. F. et al. Atributos químicos como indicadores de qualidade do solo sob manejo agroecológico. **Cadernos de Agroecologia,** v. 10, n. 3, p. 1-5, 2016.

MORAES, A. C. Research on Integrated Crop-Livestock Systems in Brazil. **Revista Ciência Agrônômica.** v. 45, p. 1024-1031, 2014.

MORAES, J. R. **Alterações nos atributos microbiológicos e nos estoques de carbono do solo decorrentes do cultivo de eucalipto no Bioma Pampa.** 2012. 126 f. Dissertação (Mestrado em ciência de solo) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS, 2012.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture. **The National Academies Press.** Washington, DC, 1993.

NAVROSKI, D. et al. Changes in microbiological attributes of a Red Latosol under different cropping systems. **Semina: Ciências Agrárias.** v. 39, n. 3, p. 971-982, 2018.

NETTO, I. T. P.; KATO, E.; G, W. J. Atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Rev. Bras. de Ci. do Solo.** V. 33, n. 5, p.1441-1448, 2009.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Relações entre os tipos e indicadores de acidez do solo em lavouras no sistema plantio direto na região do planalto do Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo.** v. 32, p. 1217-1226, 2008.

OLIVEIRA, L. B. de et al . Formas de fósforo no solo sob pastagens naturais submetidas à adição de fosfatos. **Rev. Bras. Ciênc. Solo.** v. 38, n. 3, p. 867-878, 2014.

OLIVEIRA, S. P. et al. Conversion of forest into irrigated pasture I. Changes in the chemical and biological properties of the soil. **Catena**, v. 137, p. 508-516, 2016.

PACHECO, L. P. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesq. Agrop. Bras.** v. 48, p. 1228-1236, 2013.

PILATTI, M. A. **Atributos físicos de um latossolo argiloso sob sistemas de manejo do solo.** 2018. 48 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018.

PRESTES, N. E. **Calagem, adubação e introdução de espécies em pastagem natural no planalto catarinense.** 2015, 207 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages/SC, 2015

PRESTES, N. E. Forage production in a natural grassland with limestone and phosphorus dosages. **Semina: Ciências Agrárias.** v. 37, n. 5, p. 3265-3276, 2016.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 2019 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil.** São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/map#coverage>> Acesso em: 4 jul. 2019.

RAUBER, L. P. et al. Soil physical indicators of management systems in traditional agricultural areas under manure application. **Scientia Agricola.** v. 74, n. 4, p. 354-359, 2018.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 14, n. 27, p. 29-48, 2003.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, Efeitos, Limites Críticos e Mitigação. **Tópicos em Ciência do Solo.** v. 1, p. 49-134, 2007.

REICHERT, J. M. et al. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 44, n. 3, p. 310-319, 2009.

REINERT, D. J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Rev. Bras. Ciên. Solo.** v. 32, p. 1805-1816, 2008.

REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C. **Biomassa Microbiana do Solo**. Planaltina/DF: Embrapa Cerrados, 2007. 40 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 205).

RIBEIRO, K. D. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras/MG. **Ciênc. agrotec.** v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Planejamento, Mobilidade e Desenvolvimento Regional - Departamento de Planejamento Governamental. **Perfil Socioeconômico COREDE Central**. Porto Alegre, 2015a.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Planejamento, Mobilidade e Desenvolvimento Regional - Departamento de Planejamento Governamental. **Perfil Socioeconômico COREDE Rio da Várzea**. Porto Alegre, 2015b.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Planejamento, Mobilidade e Desenvolvimento Regional - Departamento de Planejamento Governamental. **Perfil Socioeconômico COREDE Vale do Jaguarí**. Porto Alegre, 2015c.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas/SP. Embrapa monitoramento por satélite, 2010. 26 p. (Embrapa monitoramento por satélite. Boletim de pesquisa e desenvolvimento 8).

ROSA, S. F. et al. Propriedades físicas e químicas de um Argissolo sob cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden no pampa gaúcho. **Ciência Florestal**. v. 28, n. 2, p. 580-590, 2018.

ROSCOE, R. et al. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. 1. Ed. Dourados: Embrapa, p. 163-198, 2006.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 175 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2007.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Cienc. Rural**. v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SATO, C. F. et al. Environmental and grazing management drivers of soil condition. **Agri. Ecosy. & Envir.** v. 276, p. 1-7, 2019.

SHARMA, P. et al. Improving soil microbiology under rice-wheat crop rotation in Indo-Gangetic Plains by optimized resource management. **Environ. Monit. and Assess.** v. 187, n. 150, p. 0-14, 2015.

SILVA, A. P. et al. Indicadores da qualidade física do solo. In: **Jong van Lier Q**, editor. Física do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; p. 241-281, 2010.

- SILVA, B. O. T. **Atributos químicos e disponibilidade de nutrientes em latossolo sob diferentes coberturas.** Trabalho de conclusão de curso (Agrônoma)- Universidade Federal de Paraíba/PB, 2018.
- SILVA, E. E.; AZEVEDO; P. H. S.; DE-POLLI, H.. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C). **Comunicado Técnico 98.** Embrapa. 2007a.
- SILVA, E.E.; AZEVEDO; P.H.S.; DE-POLLI, H.. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂). **Comunicado Técnico 99.** Embrapa. 2007b.
- SILVA, F.O. **Percepção dos assentados sobre a qualidade do solo: um estudo de caso no assentamento fazenda São Pedro – RS.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Agronomia)- Universidade Federal da Fronteira Sul, Pontão, RS, 2018.
- SILVA, M. B. et al. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agrop. Brasileira.** v. 42, p. 1755-1761, 2007.
- SILVA, M. P. et al. Plantas de cobertura e qualidade química e física de latossolo vermelho distrófico sob plantio direto. **Agrária.** v. 12, n. 1, p. 60-67, 2017.
- SILVA, N. F. Características físico-hídricas de um latossolo sob diferentes sistemas de manejo et al. **Rev. Bras. Agric. Irr.** v. 8, n. 5, p. 375 - 390, 2014.
- SILVA, R. R. et al. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Certentes – MG. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo.** v. 34, p. 1585-1592, 2010.
- SILVA, S. G. C. et al. Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo.** v. 36, n. 2, 2012.
- SILVA, F. C. et al. Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. **In:** SILVA, F. C. (Ed.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológica, p. 107-189, 2009.
- SOIL QUALITY. In: Soil Management Assessment Framework. **Soil Quality for environmental Health**, 2011. Disponível em: < http://soilquality.org/tools/smaf_intro.html>. Acesso em: 2 ago. 2019.
- SOUZA, E. D. et al. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo**, v. 34, n. 1, p. 79-88, 2010.
- SPAGNOLLO, E. **Dinâmica da matéria orgânica em agroecossistemas submetidos a queima e manejos dos resíduos culturais.** 2004. 210f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria.
- STEFANOSKI, D. C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.

- STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A. **Atributos físico-hídricos do solo sob plantio direto**. Santo Antônio de Goiás/GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 39 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 191)
- STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 222p., 2008.
- STRECK, I. L. et al. Diagnóstico da mudança de uso da terra para produção de soja no Rio Grande do Sul. **Rev. Plantio Direto & Tec. Agrícolas**. v. 166, p. 13-18. 2018
- SUZUKI, L. E. A. S. et al. Estimativa da susceptibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do rio grande do sul. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo**. v. 32, p. 963-973, 2008
- SWANEPOEL, P. A. et al. Assessment of tillage effects on soil quality of pastures in South Africa with indexing methods. **Soil Res**. v. 53, p. 274–285. 2015.
- TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.
- TIECHER, T. et al. **Evolução e estado da fertilidade do solo no Norte do Rio Grande do Sul e Sudoeste de Santa Catarina**. Porto Alegre: UFRGS, 2016.
- TRABAQUINI, K.; FORMAGGIO, A. R.; GALVÃO, L. S. Changes in physical properties of soils with land use time in the Brazilian savanna environment. **Land Degradation & Development**, v. 26, n. 4, p. 397-408, 2015.
- TUCHTENHAGEN, I. K. et al. Visual Evaluation of the Soil Structure under Different Management Systems in Lowlands in Southern Brazil. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo**, v. 42, p. 1-13, 2018.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.33, p.743-755, 2009.
- VITAL, A. R. T. et al. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma Floresta Estacional Semidecidual em Zona Ripária. **Revista Árvore**. v.28, n.6, p.793-800, 2004.
- 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.
- WIENHOLD B. J. et al. Protocol for Soil Management Assessment Framework (SMAF) soil indicator scoring curve development. **Renewable Agriculture Food Systems**, v. 24, p. 260-266, 2009.
- YU, P. et al. Soil quality assessment under different land uses in an alpine grassland. **Catena**. v.171, p. 280-287, 2018.
- ZALAMENA, J. **Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do planalto – RS**. 2008. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.