

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**Propriedades químicas e físico-hídricas de um Latossolo vermelho sob
sistemas integrados de produção agropecuária**

CLEITON KORCELSKI

Passo Fundo

2019

CLEITON KORCELSKI

Propriedades químicas e físico-hídricas de um Latossolo vermelho sob sistemas integrados de produção agropecuária

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção de título de Doutor em Agronomia.

Orientador:

Prof. Dr. Renato Serena Fontaneli

Coorientadores:

Prof. Dr. Vilson Antonio Klein

Dr. Genei Antonio Dalmago

Passo Fundo

2019

CIP – Catalogação na Publicação

- K84p Korcelski, Cleiton
Propriedades químicas e físico-hídricas de um Latossolo
vermelho sob sistemas integrados de produção agropecuária /
Cleiton Korcelski. – 2019.
119 f. : il. color. ; 30 cm.
- Orientador: Dr. Renato Serena Fontaneli.
Coorientador: Dr. Vilson Antonio Klein; Dr. Genei Antonio
Dalmago.
Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo
Fundo, 2019.
1. Lavoura. 2. Agropecuária. 3. Ciência dos Solos.
4. Latossolos. 5. Cultivos agrícolas – Rendimento. I. Fontaneli,
Renato Serena, orientador. II. Klein, Vilson Antonio,
coorientador. III. Dalmago, Genei Antonio, coorientador.
IV. Título.

CDU: 631.41

ATA DE DEFESA DE TESE



PPGAgro

Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAMV

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a tese

“Propriedades químicas e físico-hídricas de um latossolo vermelho em sistemas integrados de produção agropecuária”

Elaborada por

Cleiton Korcelski

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
“Doutor em Agronomia – Área de Produção e Proteção de Plantas”

Aprovada em: 29/04/2018
Pela Comissão Examinadora

Dr. Renato Serena Fontaneli
Presidente da Comissão Examinadora
Orientador

Dr. Genei Antonio Dalmago
Coordenador – Embrapa Trigo

Dr. Vilson Antônio Klein
UPF

Dr. Henrique Pereira dos Santos
Embrapa Trigo

Dr. Juliano Corulli Correa
Embrapa Suínos e Aves

Dr. Edson Campanhola Bortoluzzi
Coordenador PPGAgro

Dr. Eraldo Lourenso Zanella
Diretor da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária,
Universidade de Passo Fundo

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, Pai Ilário Korcelski, mãe Maria Inês e irmão Gean Carlos, que sempre estiveram presentes nessa caminhada, firmes e fortes, e compreenderam a importância de realizar esse sonho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me iluminar e me proporcionar essa vida cheia de bênçãos.

Ao orientador, Dr. Renato Serena Fontaneli, e coorientadores, Prof Vilson Antonio Klein e Dr. Genei Anotnio Dalmago, por todas as orientações, incentivos e conselhos. Foram de extrema importância para se alcançar esse objetivo.

Aos professores do PPGAgro, da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária-UPF, pelos ensinamentos durante o curso das disciplinas. Em especial, agradeço a professora Magali Grando, pelo auxílio na realização do intercâmbio com a Universidad de Rosario.

Aos professores da Universidad Nacional de Rosario/Argentina, Julio Galli, Rubén Coniglio, Vanina Cravero e Marcelo Larripa, pelos ensinamentos. Aos Hermanos Argentinos Alejandra Planisich, Enzo Madelón, Rodrigo Roso, Franco Sordo e aos integrantes do setor de Producción Animal da Facultad de Ciencias Agrarias, pelo companheirismo durante o doutorado-sanduiche em Rosario. A todos, agradeço pela paciência e compreensão no momento de nos comunicarmos no idioma espanhol. Voltarei e faremos “muchos asados”!

Aos colegas brasileiros de intercâmbio, Giovani Pastre e Vagner Grade, pela amizade construída e pelos momentos inesquecíveis na Argentina.

À Francéllwika, por todos os momentos vividos durante esse período difícil, pela paciência e compreensão. Apesar da distância, você foi forte. Agradeço imensamente por tudo.

Aos colegas do PPGAgro-UPF, em especial, Everson Bonfada, Daiana Perdoncini, Eduardo Roesler e Patricia Frizon. A amizade de vocês foi importante para permanecer lutando.

Às amigas da Agronomia, Diana Schmidt, Elaine Deuner, Marivane Rietjens e Morgani Dente. Foram muitos momentos de descontração e de aprendizagem. Podem contar comigo sempre.

Aos amigos, Pamela, Aline e Saulo. O ensinamento e aprendizagem que tive com vocês é imensurável. Meus mentores, não tenho palavras para esclarecer o quanto vocês foram importantes para a minha evolução como ser humano.

Ao amigo Maicon, companheiro de moradia por muito tempo em Passo Fundo e amigo para o resto da vida. Meu “brodi”, você será grande. Acredite em você e nunca desista!

Aos funcionários da Universidade de Passo Fundo e Embrapa Trigo. Vocês foram importantes para a realização desse trabalho. Em especial à Manuéli Zulpo e integrantes do LAFAS, pela dedicação e ajuda durante as avaliações desse estudo tão importante.

Aos amigos do futebol em Passo Fundo, pelos momentos de diversão. Foram incontáveis horas correndo atrás de uma bola de futebol. Amizades construídas, que serão levadas para o resto da vida.

Ao amigo Marcão, pelas caronas de Planalto a Passo Fundo, serei grato eternamente por todos esses quilômetros percorridos.

À Universidade de Passo Fundo, pela qualidade de ensino e por proporcionar a realização desse curso de doutorado.

À Embrapa Trigo, por proporcionar a realização do estágio e do estudo em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária.

À CAPES, pelo fornecimento da bolsa de estudos. Foi muito importante para a permanência nessa cidade maravilhosa.

À todas pessoas que cruzaram por mim durante a realização do Doutorado, de alguma forma, ruim ou boa, vocês me proporcionaram melhorar como pessoa.

EPIGRAFE

Eu trabalhei duro por muito tempo. E não é sobre ganhar, mas sobre não desistir.

Se você tem um sonho, lute por ele.

Lady Gaga

RESUMO

KORCELSKI, Cleiton. Propriedades químicas e físico-hídricas de um Latossolo vermelho sob sistemas integrados de produção agropecuária. 2019. 119 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2019.

A agricultura é um setor produtivo que cresce cada vez mais e novos sistemas de produção agrícola são desenvolvidos na tentativa de aumentar a produtividade vegetal. No entanto, esses sistemas podem envolver vários componentes, tornando-o complexo. Afim de facilitar a compreensão desse sistema de produção, é importante que haja estudos específicos de cada arranjo de espécies. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é testar se a composição multiespecífica de plantas forrageiras em sucessão com culturas anuais ou pastagens perenes altera propriedades químicas e físico-hídricas do solo, a dinâmica de água no sistema solo-planta e o desempenho produtivo de grãos de milho e soja em sistemas integrados de produção agropecuária. Foram testados três sistemas de produção, caracterizados como: produção de grãos apenas; produção de grãos/aveia-preta+ervilhaca; e produção de grãos com inserção de grama bermuda + sobresemeadura de espécies forrageiras de inverno. Nesse último, a grama bermuda foi avaliada separadamente do sistema de produção de grãos para avaliação de propriedades químicas e físico-hídricas de solo, além de uma área de mata. Se avaliou histórico de propriedades químicas de solo após 22 anos da implantação dos sistemas de produção, propriedades físico-hídricas de solo e rendimento de grãos de soja e milho. A grama bermuda aumentou teores de matéria orgânica, cálcio e magnésio e reduziu fósforo e potássio no solo. Além disso, reduziu densidade relativa e aumentou macroporosidade de solo. A perda de umidade do solo de 0 a 20 cm foi potencializada no solo com grama bermuda/sobresemeadura. Não houve efeito de sistema de produção na temperatura de folha, potencial hídrico foliar, transmissividade à radiação solar e componentes de rendimento de grãos de milho e soja. A inserção de pastagens em sistemas integrados de produção agropecuária pode ser uma alternativa aos produtores agrícolas para reduzir riscos de quebra de safra e aumentar renda.

Palavras-chave: 1. Integração Lavoura-Pecuária. 2. Vazio forrageiro. 3. Rotação de culturas. 4. Qualidade de solo. 5. Forrageiras.

ABSTRACT

KORCELSKI, Cleiton. Chemical and physical-hidric properties of a Red Latosol under integrated crop-livestock systems. 2019. 119 f. Thesis (Doctor in Agronomy) - University of Passo Fundo, Passo Fundo, 2019.

Agriculture is a growing sector of production and new systems of agricultural production are developed in an attempt to increase plant productivity. However, these systems may involve multiple components, making it complex. In order to facilitate the understanding of this production system, it is important that there be specific studies of each species arrangement. Thus, the objective of this work is to test if the multispecies composition of forage plants in succession with annual crops or perennial pastures changes chemical and physical-water properties of the soil, water dynamics in the soil-plant system and the productive performance of grains of corn and soybeans in integrated agricultural production systems. Three production systems were tested, characterized as: grain yield only; grain production/black oats + vetch; and grain production with insertion of bermudagrass + overwintering of winter forage species. In the latter, bermuda grass was evaluated separately from the grain production system for evaluation of soil chemical and physical-water properties, as well as a forest area. It was evaluated the history of chemical properties of soil after 22 years of the implantation of the production systems, soil physical-water properties and yield of soybean and corn grains. bermuda grass increased levels of organic matter, calcium and magnesium and reduced phosphorus and potassium in the soil. In addition, it reduced relative density and increased soil macroporosity. Soil moisture loss from 0 to 20 cm was potentiated in the soil with bermuda grass/overgrowth. There was no effect of production system on leaf temperature, leaf water potential, transmissivity to solar radiation and yield components of corn and soybean. The insertion of pastures into integrated agricultural production systems can be an alternative to agricultural producers to reduce risks of crop failure and increase income.

Key words: 1. Crop-livestock integration. 2. Empty forage. 3. Crop rotation. 4. Soil quality. 5. Forrages.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1	<i>Implementação de SIPA's</i>	18
2.2	<i>Vantagens proporcionadas pela biodiversidade</i>	21
2.3	<i>Vantagens dos SIPA's</i>	21
2.4	<i>Qualidade do solo com a implantação de SIPA's</i>	23
2.5	<i>Condição hídrica do solo em SIPA's e sua influência sobre a planta</i>	28
2.5.1	Processo de evapotranspiração	30
2.5.2	Indicadores da condição hídrica em sistemas de produção agrícolas	32
3	CAPÍTULO I - PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO SOB SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA	35
3.1	<i>Resumo</i>	35
3.2	<i>Introdução</i>	35
3.3	<i>Material e Métodos</i>	37
3.3.1	Descrição da área experimental	37
3.3.2	Delineamento experimental	37
3.3.3	Procedimentos culturais	39
3.3.4	Aspectos avaliados	39
3.3.5	Análise estatística	39
3.4	<i>Resultados</i>	40
3.5	<i>Discussão</i>	53
3.5.1	pH e teores de alumínio e cálcio	53
3.5.2	Matéria orgânica	54
3.5.3	Fósforo, potássio e magnésio	55
3.6	<i>Conclusões</i>	56
4	CAPÍTULO II - PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA	58
4.1	<i>Resumo</i>	58
4.2	<i>Introdução</i>	58
4.3	<i>Material e Métodos</i>	60
4.3.1	Descrição da área experimental	60

4.3.2	Delineamento experimental	60
4.3.3	Procedimentos culturais	62
4.3.4	Avaliações	62
4.3.5	Análise estatística	65
4.4	<i>Resultados</i>	65
4.5	<i>Discussão</i>	76
4.6	<i>Conclusões</i>	78
5	CAPÍTULO III - RELAÇÕES HÍDRICAS NO SISTEMA SOLO-PLANTA E RESPOSTA DE SOJA E MILHO INSERIDOS EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA	79
5.1	<i>Resumo</i>	79
5.2	<i>Introdução</i>	79
5.3	<i>Material e Métodos</i>	81
5.3.1	Descrição da área experimental	81
5.3.2	Delineamento experimental	83
5.3.3	Procedimentos culturais	84
5.3.4	Avaliações	85
5.3.5	Análise estatística	86
5.4	<i>Resultados</i>	86
5.5	<i>Discussão</i>	90
5.6	<i>Conclusões</i>	91
6	CONSIDERAÇÕES GERAIS	92
7	CONCLUSÃO GERAL	93
	REFERÊNCIAS	94
	ANEXOS	113
	<i>Anexo I Esquema de penetrômetro eletrônico utilizado para a aferição da RMP.</i>	114
	APÊNDICES	116
	<i>Apêndice I Croqui do experimento</i>	117

1 INTRODUÇÃO

A região Sul do Brasil, durante o período estival, destina à produção de grãos uma área de aproximadamente 16 milhões de hectares ocupados na maior parte por culturas como soja (*Glycine max*), arroz (*Oryza sativa*), milho (*Zea mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*). Enquanto no período de inverno, essa área é reduzida significativamente, devido à escassez de espécies e à pouca importância dada às culturas com produção de grãos, principalmente o trigo (*Triticum aestivum*). Portanto, a produção de grãos na região Sul do Brasil é concentrada principalmente na estação quente, enquanto pouco se explora economicamente o período invernal.

O uso de culturas com o objetivo de cobertura de solo durante o inverno é bastante difundido na região, e ao final do ciclo de desenvolvimento realiza-se a dessecação da área e toda matéria seca produzida é destinada à adubação verde. Portanto, a inserção de espécies de cobertura de solo na rotação de culturas se torna interessante a fim de adequar a prática a seus princípios básicos, seja manutenção de cobertura vegetal durante o ano todo ou utilização de espécies de distintas contribuições agronômicas.

A implantação de sistemas de produção, compostos principalmente por culturas anuais, muitas vezes é afetado pela falta de opções rentáveis no inverno devido a adoção de espécies que possuem como produto final o acúmulo de matéria seca apenas para cobertura de solo. Uma pequena parcela de produtores agrícolas adota a prática de pastejo dessas áreas com o objetivo de aumentar a rentabilidade econômica de sua propriedade através da produção animal. A produção animal pode ser adotada como forma alternativa de diversificação e aumento da sustentabilidade rural. Desse modo, o enquadramento de espécies com aptidão ao pastejo animal em sistemas de produção acarreta em duplo retorno ao produtor, pois mantém a área coberta num período de escassez produtiva de grãos e diversifica a rentabilidade econômica da propriedade.

Existem diversas espécies de importância econômica relevante que se enquadram como culturas de inverno direcionadas à cobertura de solo e alimentação de animais que podem ser inseridas num sistema de produção e caracterizar um sistema mais sustentável.

Com o decorrer dos anos, a agricultura vem objetivando o uso eficiente da área agrícola, desenvolvendo novas tecnologias e sistemas de produção para que o produtor rural utilize rotações de culturas de forma planejada e insira novas alternativas econômicas na sua unidade produtora. No entanto, não somente culturas anuais vêm sendo estudadas, mas também culturas que apresentam ciclos de desenvolvimento longos, como bienais e perenes.

Um problema para implementar rotações de culturas com a inserção de espécies forrageiras de ciclo bienal ou perene é a adequação da propriedade rural a fim de confeccionar um plano de rotação de culturas que atenda os princípios básicos da integração lavoura-pecuária (ILP), como uso de cobertura morta durante todo o ano, e que gere maior rentabilidade ao produtor. A adequação implica na redução da área destinada à grãos, no entanto, mantém durante todos os anos a maior diversidade de produção, com a presença de maior número de espécies. Como resultado, o produtor rural reduz o risco de quebra de safra, incrementa a produção de alimentos em um ambiente que demanda altas quantidades de energia e reduz impactos ao ambiente de produção.

Todavia, a implantação de novos sistemas de produção em propriedades agrícolas necessita de pesquisas específicas, tanto em recursos metodológicos, espécies adaptadas e locais para implantação, devido que a adoção de uma gama maior de espécies vegetais gera maior complexidade de interações. A rotação de culturas é adotada por muitos produtores, no entanto, a diversidade de espécies que podem compor o sistema de produção e seu modo de inserção impacta diferentemente sobre a relação solo-planta, gerando na maioria das vezes confusão entre produtores e baixa eficácia de adoção da prática, principalmente devido a variação de ciclos de cada espécie vegetal.

O desenvolvimento de novos sistemas de produção, bem como a rotação de culturas com uso de espécies forrageiras, possui potencial de gerar maior eficiência da fertilidade do solo, caracterizada nos aspectos químicos, físicos e biológicos. Também, o uso eficiente da área pode acarretar na maior sustentabilidade da unidade produtora, através dos benefícios da inserção ao longo do tempo de culturas com distintas características agronômicas. E ainda, a inserção de espécies forrageiras em sistemas de produção pode favorecer aspectos relacionados às propriedades físico-químicas e hídricas do solo.

A grande contribuição da rotação de culturas provém da ciclagem de nutrientes, pela bomba biológica, com circulação dos nutrientes das áreas mais profundas à superfície. Em relação às propriedades físicas, pode acarretar em maior aeração, descompactação, e infiltração de água. Nas propriedades biológicas, o retorno é inerente dos benefícios das anteriores, bem como, da simbiose entre plantas, que favorecem a atividade microbiológica.

Portanto, diante da situação do uso pouco eficiente das áreas agrícolas no inverno e da necessidade da escolha de espécies que tragam maiores benefícios ao sistema produtivo, este trabalho busca responder: Qual o impacto de consorciações forrageiras multiespecíficas anuais em rotação com culturas anuais ou com pastagem perene na qualidade química e físico-hídrica do solo, na dinâmica da água no sistema solo-planta, no rendimento agrônomico de plantas e no desempenho econômico de sistemas integrados de produção agropecuária?

Se o tipo de composição multiespecífica de plantas forrageiras em sucessão com culturas anuais ou pastagens perenes é fator determinante da qualidade química e físico-hídrica do solo, da dinâmica da água no sistema solo-planta, da produtividade agrônômica e rentabilidade dos sistemas integrados de produção agropecuária, então a inclusão de leguminosas em misturas sobressemeadas em áreas com pastagem perene irá melhorar as propriedades físico-químicas e hídricas do solo, quando comparada a misturas sem leguminosas e em sucessão com culturas graníferas de verão.

Por isso, o objetivo desse trabalho é testar se a composição multiespecífica de plantas forrageiras em sucessão com culturas anuais ou pastagens perenes altera propriedades químicas e físico hídricas do solo, a dinâmica de água no sistema solo-planta e o desempenho agrônomico de espécies em sistemas integrados de produção agropecuária.

Essa tese apresenta um referencial teórico sobre as relações Solo-Planta em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária e mais três capítulos. O primeiro capítulo é referente ao histórico de propriedades químicas de solo após a implantação de diferentes sistemas de produção agropecuária. Esse capítulo contém o histórico do período 1993-2015 de valores referentes a nutrientes de solo em cada sistema de produção. O segundo capítulo contém uma abordagem às propriedades físicas analisadas no ano de 2017, após

24 anos de condução dos mesmos sistemas de produção. E o terceiro capítulo faz referência às propriedades hídricas desse solo sob sistemas de produção distintos e às consequências às plantas, avaliadas somente no ano de 2017.

2 REVISÃO DA LITERATURA

O ILP (Integração Lavoura Pecuária) ou SIPA (Sistema Integrado de Produção Agropecuária) são conceitos amplamente utilizados na comunidade científica para compreender como realmente funciona sistemas de produção. A nível mundial, alguns autores podem ainda utilizar o termo “Sistemas Multiespecíficos” (MALÉZIEUX et al., 2009).

Visando esse contexto, o objetivo dessa revisão de literatura é abordar aspectos relacionados a propriedades físicas, químicas e hídricas de solo, produção e eficiência econômica, sendo influenciados ou não com a implementação de SIPA's, envolvendo conceitos de multiespecificidade vegetal, rotação e sucessão de culturas.

2.1 Implementação de SIPA's

Desde o início do século XX, investe-se cada vez mais no desenvolvimento de sistemas de produção, seja agrícola, pecuário ou misto, para aperfeiçoar as técnicas e níveis de produção de alimentos, com intuito de sustentar a demanda advinda do crescimento populacional do planeta. Com o passar do tempo desafios foram impostos à agricultura: produção de alimentos em elevada quantidade e com qualidade, segurança alimentar, produção de energia, fibra, madeira e outros bens, e ainda, auxílio na mitigação de gases causadores de efeito estufa passaram a ser fundamentos básicos da produção agrícola (BALBINOT JUNIOR et al., 2009).

Os sistemas de produção agrícola eram baseados, em sua maioria, na monocultura, ou seja, praticamente não havia diversidade de espécies, enquanto que, individualmente, as plantas são geneticamente homogêneas, originadas de sementeira uniforme e simétrica, e considerando que a entrada de insumos externos é elevada (MALÉZIEUX et al., 2009). Em grande contraste, a evolução dos ecossistemas naturais é baseada num alto nível de biodiversidade. De forma alternativa, atualmente, os sistemas de produção baseados em maior número de espécies, cuidadosamente projetadas, revelam muitas vantagens

potenciais em diversas situações, tanto na agricultura temperada quanto na agricultura tropical (MALÉZIEUX et al., 2009).

Os sistemas de produção de monocultivos dependem de insumos externos, encarecendo a produção agrícola, além de apresentar características que acarretam em malefícios ao meio ambiente, sendo erosão e degradação do solo, desbalanço químico (contaminação), presença de combustíveis fósseis e redução drástica da biodiversidade (GILLER et al., 1997; GRIFFON, 1999; TILMAN et al., 2002). Em contrapartida, os sistemas multiespecíficos são vistos com bons olhos pela comunidade científica e produtores agrícolas, por ser um sistema de produção baseado em princípios ecológicos. Numa classificação conceitual, os sistemas multiespecíficos de produção agrícola podem englobar SIPA's integrando a agricultura com a produção animal. Muitas vezes, sem insumos sintéticos e baseados na gestão integrada dos recursos naturais locais e, em muitos casos, no gerenciamento racional da biodiversidade, os sistemas integrados oferecem teoricamente inúmeras vantagens ecológicas (MALÉZIEUX et al., 2009).

Paralelo a isso, são criados e testados inúmeros sistemas de produção, envolvendo genótipos vegetais diversos, principalmente forrageiras e leguminosas, rotação de culturas e consórcios de espécies vegetais (SPERA et al., 2004a; SANTOS et al., 2014a; SANTOS et al., 2014b; SANTOS et al., 2015). Esses sistemas, ou então chamados de novos modelos de produção, são propostos largamente por muitos técnicos da área agrônoma para a criação de sistemas de produção mais sustentáveis (GLIESSMAN, 2001; ALTIERI, 2002) e ecológicos, afim de proporcionar maiores benefícios ao meio ambiente.

Ressalva-se que para o desenvolvimento de um sistema de produção de êxito, a rotação de culturas e o manejo adequado da lavoura são primordiais para a redução de distúrbios ambientais (BALBINOT JUNIOR et al., 2009). Nesse contexto, o autor afirma que a alternativa mais apropriada é o uso de um sistema de produção que ocupe eficientemente os recursos disponíveis no ambiente de produção, conjugado à melhoria da qualidade de solo, redução do consumo de insumos externos e geração de maior eficiência econômica.

A estabilidade e a sustentabilidade de um sistema de produção gerenciados pelo homem podem ser aumentadas, desde que haja substituição de entradas de energia ou

insumos externos por funções mutuamente benéficas que são encontradas com a multiespecificidade ou biodiversidade (HOBSS, MORTON, 1999). Com isso, nem sempre a produtividade é aumentada, mas sim a sustentabilidade do sistema de produção. Dessa forma, esse sistema se torna mais capaz de resistir e/ou rebater intempéries ou problemas inesperados.

Práticas agrícolas que não usam eficientemente os recursos, ou que impactam diretamente o meio ambiente acabam por acarretar em prejuízos, bem como a erosão e a degradação do solo (TILMAN et al., 2002).

Dessa forma, a implementação de SIPA's e suas derivações, possuem os requisitos que abrangem os objetivos supracitados, porque pressupõem a prática de cinco fundamentos básicos (ENTZ et al., 2002; RAO et al., 2003; BALBINOT JUNIOR et al., 2009): correção da acidez e fertilidade do solo; uso de sistema de plantio direto; uso contínuo das áreas agrícolas durante o ano através da rotação de culturas, protegendo o solo da degradação erosiva e melhorando a qualidade ao longo do tempo; uso de genótipos animais e vegetais melhorados e de alto rendimento; e manejo forrageiro adequado e correto. Percebe-se que dentre os princípios citados, a maioria deles impacta direta ou indiretamente o solo. Isso faz refletir a importância que se dá ao solo no momento de praticar a agricultura.

Uma ressalva importante é necessária. A implementação de sistemas integrados de produção nem sempre pode ser uma prática simples, já que são sistemas com maior complexidade, baseados em várias espécies e que combinam as mais diversas formas de plantas, sejam anuais, perenes, gramíneas, leguminosas, lenhosas, herbáceas, entre outros tipos agrônômicos (MALÉZIEUX et al., 2009).

Para deixar ainda mais complexo, a condução de sistemas integrados de produção ainda possui entraves no que diz respeito a multiespecificidade. O que se têm são técnicas elaboradas e dominadas pela Agronomia que permitem a condução de monoculturas. O desafio é adequar essas técnicas ao cultivo multiespecífico. No entanto, a comunidade científica, nos últimos anos, tem se preocupado em advertir as principais vantagens de implantar um sistema de produção multiespecífico, com maior diversidade de plantas.

2.2 Vantagens proporcionadas pela biodiversidade

Um ambiente com maior biodiversidade genética possibilita maiores incrementos de biomassa (MALÈZIEUX et al., 2009). Apesar de haver diversos trabalhos que constatarem essa consequência, ainda há controvérsias entre pesquisadores. Isso se deve ao fato de que a maioria dos trabalhos serem realizados em ambientes de pradarias naturais (HECTOR et al., 1999; LOREAU et al., 2001; TILMAN et al., 1996; 1997) ou florestas naturais (VILA et al., 2003; KELTY, 2006; ERSKINE et al., 2006). Enquanto um menor número de trabalhos é realizado em ambientes cultivados (ALTIERI, 1999, SANTOS et al., 2015).

De qualquer forma, a biodiversidade pode causar vários impactos desejáveis num ambiente (GURR et al., 2003):

- Manter o equilíbrio e constância na produção de biomassa;
- Restaurar nichos e serviços perturbados em ecossistemas, principalmente ciclagem de nutrientes e água;
- Amenizar invasões de pragas e doenças, afetando diretamente através do controle biológico.

Essas características da biodiversidade podem também ser aplicadas à produção agrícola (EWEL, 1986). Apesar de muitos anos terem se passados, o autor já tinha ideia que a biodiversidade poderia contribuir benéficamente para a produção agrícola. Pois, uma cobertura morta na superfície do solo reduz a erosão e a degradação do solo, o cultivo mínimo reduz a maior movimentação do solo e, como consequência, o transporte de partículas do solo. Ainda afirmou que raízes profundas favorecem a absorção de água e a ciclagem de nutrientes, reforçando a prática de inserir o componente arbóreo em sistemas agrícolas de produção. A lição que se retira com o trabalho de Ewel (1986) é que é possível basear-se na biodiversidade para compor nossos sistemas de produção agrícola.

2.3 Vantagens dos SIPA's

Após o ano de 1990, culturas produtoras de grãos, como milho, soja e trigo, ganharam importância nas rotações de culturas com pastagens (SANTOS, TOMM, 1999;

AMBROSI et al., 2001; SANTOS et al., 2009a). Os sistemas ILP apresentam inúmeras vantagens, tanto biológicas como econômicas (FONTANELI et al., 2000; ENTZ et al., 2002; ASSMANN et al., 2003; CONCEIÇÃO et al., 2005; RUSSELLE, ENTZ, FRANZLUEBBERS, 2007; SULC, TRACY, 2007; TRACY, ZHANG, 2008): grande velocidade de ciclagem de nutrientes pela presença de animais, considerados importantes para a rápida mineralização dos nutrientes que compõe o material vegetal; melhoria da qualidade do solo através do maior acúmulo de carbono orgânico ao longo do tempo devido ao crescimento e desenvolvimento contínuo de espécies vegetais na área e pela rápida ciclagem de nutrientes; incremento e diversificação de renda através da diversificação de atividades – animal e vegetal.

Além disso, sistemas de produção baseados na integração de espécies vegetais (multiespecificidade) aumentam a produtividade vegetal, enquanto doenças e pragas são controladas mais facilmente, os serviços ecológicos são aprimorados – pois, há redução de insumos externos como fertilizantes químicos e pesticidas – e maior rentabilidade econômica, por consequência (MALÈZIEUX et al., 2009).

Alguns pesquisadores já recomendam a implementação de sistemas multiespecíficos. Jackson (2002) teorizou que, imitar um bioma natural como a pradaria – composta basicamente de uma biodiversidade enorme e com variadas funções – tenha como vantagens às plantas, a adaptação à maior variação do clima e indisponibilidade de água.

De modo geral, a rotação de culturas proporciona uma rotação no uso da terra, gerando maior equilíbrio e ciclagem de nutrientes; ocorrência espaço-temporal de culturas no campo, já que um maior número de espécies pode estar presente no mesmo talhão de terra, inclusive intercalando ciclos de desenvolvimento e aumentando o tempo de permanência de plantas nessa área; e maior porcentagem de cobertura do solo pelo dossel de plantas (GARCIA-BARRIOS, 2003).

Assim, é intrínseco aos sistemas integrados de produção a influência nas relações Solo-Planta, de modo a alterar o crescimento e desenvolvimento vegetal com a consolidação das práticas. No entanto, há um conceito bastante importante a se ressaltar, que é biodiversidade planejada (ALTIERI, 1999; SWIFT et al., 2004). Esse termo pode ser entendido quando o agricultor insere intencionalmente espécies vegetais cultivadas

(biodiversidade planejada) juntamente a biota já presente no ambiente, como flora e fauna do solo, herbívoros, carnívoros e decompositores (biota associada).

Há uma estreita relação entre esses dois tipos de biota (VANDERMEER et al., 1998). Dessa forma, o entendimento de um ambiente de produção integrada é de extrema complexidade e os diferentes componentes (solo e planta) devem ser estudados de forma paralela.

2.4 Qualidade do solo com a implantação de SIPA's

Destaca-se que a principal influência do cultivo sob SIPA's é a manutenção e/ou acúmulo dos teores de matéria orgânica (MO), devido que através da inserção de diversas espécies vegetais de distintas características agrônômicas, possibilita-se gerar grandes quantidades de resíduos orgânicos após a colheita.

A base para o desenvolvimento da agricultura conservacionista, como pode ser denominada a forma de praticar a agricultura com mínimo impacto ambiental, é persistir com a cobertura do solo pelo maior tempo possível e minimizar o revolvimento desse solo, reduzindo a erosão (MALÉZIEUX et al., 2009), impactando positivamente sobre a qualidade da água dos rios e intensidade de inundações (SWIFT et al., 2004).

A MO, advinda do resíduo orgânico deixado pelas plantas, é também o principal condicionador de solo, pois aumenta a estabilidade e porosidade de agregados (SALTON et al., 2008) e reduz a densidade, que, por conseguinte, afeta positivamente a infiltração de água, estimula o crescimento radicular de plantas (BRAIDA, 2011) e reduz a compactação (SILVA et al., 2006).

Sistemas mais diversificados, como a integração lavoura-pecuária, repõem e mantêm os níveis de matéria orgânica do solo (MOS), além de proporcionar estruturação de solo, favorecendo a maior taxa de infiltração de água das chuvas e, subsequentemente, maior disponibilidade para os cultivos; redução do escoamento superficial, evitando o processo de erosão e poluição d'água; e penetração radicular no perfil do solo, o que propicia o aumento do volume de solo explorado pelo sistema radicular dos cultivos e a eficiência de uso de água e nutrientes (FRANZLUEBBERS, 2007).

Six et al. (2004) descrevem uma escala evolutiva, criada por Tisdall e Oades (1982), sobre o processo de formação dos macroagregados no sistema Solo-Planta. Primeiramente, partículas primárias livres e agregados com tamanho de silte são unidos por agentes ligantes mais persistentes, como a MO humificada ou ainda complexados de cátions polivalentes, óxidos e aluminossilicatos. Essa agregação forma os microagregados, com tamanho de 20 a 250 μm . Por conseguinte, a união dos microagregados dar-se-á através de ligantes temporários, como raízes e hifas de fungos, e ligantes transientes (polissacarídeos advindos de microrganismos ou plantas). Essa união de microagregados forma os macroagregados, com tamanho maior que 250 μm .

Consequentemente, em sistemas multiespecíficos que apresentam uma biodiversidade maior, a agregação de partículas do solo também se torna maior, pois o volume de resíduos orgânicos e raízes é incrementado. Em sistemas ILP sob sistema plantio direto e maior acúmulo de resíduos orgânicos em superfície sem revolvimento, a formação de macroagregados estáveis é favorecida, possibilitando a formação da estrutura do solo (MIELNICZUK et al., 2003; SALTON et al., 2008). Principalmente plantas da família *Poaceae*, são responsáveis pela formação desses macroagregados, devido ao grande volume radicial presente nesses indivíduos (BRONICK, LAL, 2005; SALTON et al., 2008), conferindo grande importância da inserção desse grupo em rotações de culturas.

Os macroagregados podem ser responsáveis por influenciarem em outros atributos físicos do solo, como porosidade (micro e macroporosidade), velocidade de infiltração da água, densidade do solo e resistência do solo à penetração (SCHIAVO, COLODRO, 2012). Outros atributos de solo, como condutividade hidráulica, curva de retenção de água (BALBINO et al., 2004), resistência mecânica do solo à penetração (IMHOFF et al., 2000), e estabilidade de agregados (CORRÊA, 2002) também são influenciados por práticas agrícolas. Assim, foi constatado que, com a intensificação de práticas agrícolas, que revolvem o solo ou que reduzem a cobertura vegetal sobre a superfície do solo, é reduzida a retenção de água e a condutividade hidráulica. Ainda, ocorre aumento da resistência mecânica do solo a penetração devido ao aumento da densidade do solo, ocasionando uma maior compactação e desestruturação de agregados do solo. Hernani e Guimarães (1999) constataram que o preparo de solo associado a rotação de culturas

influenciam no tamanho e estabilidade de agregados. O plantio direto associado a rotação de culturas, com maior número de espécies vegetais possibilitou incremento nos valores de diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água. Ainda, esse efeito é potencializado e acontece de forma mais rápida quando, na rotação de culturas, há a inserção de pastagens (SALTON et al., 1999).

Relacionando com a hipótese de Tisdall e Oades (1982), pode-se inferir que numa fase inicial ocorre a interação do material mineral com compostos orgânicos, formando microagregados. Com a inserção do componente vegetal e o desenvolvimento de microrganismos, os microagregados são unidos e formam os macroagregados mais estáveis. Pode-se afirmar que esses macroagregados são estruturas do solo com nível mais elevado de organização. Com o aumento da complexidade dos sistemas integrados de produção, essa interação solo-planta-microrganismos também é desenvolvida e o fluxo de energia e matéria é mais elevado (SALTON et al., 2008). Por conseguinte, solos com elevado fluxo de energia e matéria podem ser classificados como solos em estado de ordem superior a solos com menor fluxo de matéria e energia e com predominância de microagregados (VEZZANI, 2009).

O resultado da desestruturação dos macroagregados do solo é a compactação. A compactação do solo é ocasionada pelo aumento da densidade e resistência à penetração e é a principal causa visível e temida da degradação dos solos, onde a textura é fator considerável no momento de obter conclusões fidedignas sobre o processo (ALBUQUERQUE, SANGOI, ENDER; 2001).

Ball-Coelho (1998) observaram que, o aumento da densidade de um solo arenoso aumentou a retenção de água, formando maior quantidade de microporos, no entanto, não alterou significativamente a produtividade de milho. Silva et al. (2000) não observaram reduções na produtividade de milho após a compactação por pisoteio animal em um sistema ILP em solo Podzólico Vermelho-Amarelo franco-arenoso, mesmo após a constatação da maior concentração superficial de raízes.

Esse desencontro de resultados deve-se ao fato da compactação do solo, representada pela densidade do solo não representar de forma fidedigna a condição do solo. Como supracitado, a textura desse solo é imprescindível para delimitar uma condição fidedigna, pois se caracteriza através de diferentes tamanhos de partículas (areia,

silte, argila) que apresentam propriedades e comportamentos distintos no solo (MARCOLIN, KLEIN, 2011). Os autores explicam que a fração areia, devido ao seu maior tamanho, permite maior permeabilidade à água e ao ar no solo, no entanto, tem baixa capacidade de retenção de água e são não coesivas. O silte possui poros menores e mais numerosos, retém mais água e possui menor taxa de drenagem do que a areia. A argila, devido ao diâmetro reduzido, tem grande área superficial específica, acarretando alta retenção de água e fluxo lento de ar e água, além de grande pegajosidade quando úmida, e alta coesão quando seca (BRADY, WEIL, 2008).

Solos arenosos possuem densidade do solo maior que solos argilosos, devido à densidade de suas partículas, enquanto que solos siltosos apresentam densidade intermediária (BUENO, VILAR, 1998; LIBARDI, 2005). Ressalta-se que solos argilosos apresentam densidade baixa devido a presença de porosidade intra-agregados, causada pela maior agregação de partículas (BRADY, WEIL, 2008). Klein (2008), através da sua afirmação, onde diz que a densidade do solo é a relação entre o solo seco e o volume ocupado por esse, nos remete a concluir então, que a densidade do solo é influenciada pela estrutura, arranjo e volume de poros.

Considerando princípios importantes de mecânica de solos, em 1933, Ralf Proctor realizou estudos e publicou artigos referentes à compactação do solo, onde aborda que essa é dependente da energia aplicada e da umidade do solo no momento da ocorrência da compactação (MARCOLIN, KLEIN, 2011). Assim, surgiu o ensaio de Proctor Normal (FIGUEIREDO, DIAS JÚNIOR, FERREIRA, 2000), que vem sendo aplicado aos estudos de dinâmica de solos agrícolas. Com esse ensaio de Proctor é possível determinar a densidade máxima do solo e a umidade ótima de compactação. Como forma de compreender a aplicação técnica, Klein (2014) observou densidades máximas de 1550 e 320 kg/m³ em solo argiloso e arenoso, respectivamente, comprovando a influência da textura na densidade dos solos. Dessa forma, se criou o conceito de densidade relativa do solo ou grau de compactação (HAKANSSON, LIPIEC, 2000; KRZIC et al., 2003; BEUTLER et al., 2005; SANTOS et al., 2005; KLEIN, 2006; MARCOLIN, KLEIN, 2011). A densidade relativa é a relação da densidade do solo com sua densidade máxima. Dessa forma, quanto maior a densidade relativa de um solo, menos propício ele se torna ao cultivo de plantas.

Não somente propriedades físicas do solo são afetadas diretamente pela implementação de sistemas integrados de produção (SALTON et al., 2008), mas também propriedades químicas. Como já relatado anteriormente, a principal fonte de nitrogênio (N) para a maioria das espécies vegetais, a matéria orgânica é o principal aspecto edáfico-químico que pode sofrer mudança nos seus teores no solo com a implementação de novas práticas agrícolas, inclusive novos sistemas de produção. Ainda, outros nutrientes podem sofrer influências diretas através da ciclagem de nutrientes em maior escala ocorrida em SIPA's (ASSMANN et al., 2003), no entanto, também sofrem influência direta da fertilização.

Um importante impacto técnico do SIPA é o aproveitamento do efeito residual da adubação realizada sobre as culturas de grãos pelas pastagens (CORDEIRO et al., 2015). A rotação de culturas, que inclua espécies com alta eficiência em extrair fósforo, principalmente pastagens perenes gramíneas tropicais, por exemplo, resulta em aumento na recuperação de fósforo adicionado ao solo de até 69% a mais do que no sistema composto apenas de culturas anuais (SOUSA et al., 2007).

Essa maior eficiência se deve à morfologia do sistema radicular, densidade dos pelos radiculares e associação com fungos micorrízicos que aumentam a absorção de nutrientes com pouca mobilidade na solução do solo, particularmente o fósforo, em virtude da exploração de um maior volume de solo, da solubilização de fosfatos orgânicos pelas fosfatases produzidas pelas hifas e da mobilização de fósforo inorgânico (YAO et al., 2001). Com o passar dos anos agrícolas e a consolidação do sistema de rotação de culturas, o solo poderá apresentar incremento nos teores de fósforo, sem necessitar a adição de altas doses de insumos químicos. A presença das espécies forrageiras possibilita, assim, a maior eficiência na ciclagem de nutrientes, possibilitando a redução na inserção de insumos externos. A mesma dinâmica pode ocorrer com os demais nutrientes encontrados no solo. No entanto, são necessários estudos específicos para cada sistema, logo que o tipo agrônômico da cultura agrícola pode influenciar diretamente nessa dinâmica.

Solos do tipo franco-siltosos, na Pampa Ondulada Argentina, vem sofrendo perdas progressivas nos teores de nutrientes (LAVADO, 2006). Os principais motivos dessa perda podem estar relacionados ao grande período de pousio que ocorre no outono-

inverno e baixo aporte de resíduo orgânico (RESTOVICH et al., 2005), já que na região predomina o monocultivo de soja. O sistema de plantio direto é empregado nessa região, no entanto, é primordial ao sistema o aporte de material orgânico, algo que não é observado pelo baixo número de espécies cultivadas durante o ano.

Ainda, solos com predominância do cultivo de soja apresentam estimulação da mineralização da matéria orgânica, causada por produtos da fixação biológica de nitrogênio que conduzem o pH da superfície do solo próximo a neutralidade (HUGGINS et al., 2007; IRIZAR, 2010).

É comum trabalhos científicos obterem incremento nos teores da matéria orgânica em sistemas de produção que usam espécies vegetais destinadas a cobertura de solo (SAINJU, SINGH, WHITEHEAD, 2002; FRANZLUEBBERS, 2005; LIU, MA, BOMKE, 2005; AMADO et al., 2006; METAY et al., 2007; CONSTANTIN et al., 2010). Essa observação possibilita compreender que o uso de sistemas multiespecíficos é uma importante ferramenta para a manutenção da qualidade química dos solos.

Além de tudo, em um sistema de produção, através da coexistência de maior número de espécies, com sistemas radiciais distintos e que exploram diferentes profundidades do solo, é possível que plantas com raízes mais profundas tragam nutrientes para perfis superiores do solo (VAN NOORDWIJK et al., 1998). Isso incrementa a eficiência no uso desses nutrientes e compensa parcial ou completamente o efeito da lixiviação de nutrientes para camadas mais profundas do solo e inexploradas por plantas que possuem sistemas radiciais menos profundos. No entanto, o crescimento radicial também pode acarretar em maior volume de solo explorado, dessa forma incrementando o volume de água disponível à planta.

2.5 Condição hídrica do solo em SIPA's e sua influência sobre a planta

Sistemas integrados de produção foram desenvolvidos para proporcionar ao agricultor inúmeros benefícios, a fim de diversificar as atividades na unidade produtora, dispende menor quantidade de energia, reduzir os riscos econômicos (SANTOS et al., 2009a), diversificar o uso de espécies vegetais durante todo o ano agrícola e melhorar a qualidade do solo (BALBINOT JUNIOR et al., 2009; SANTOS et al., 2014b). Por

consequente, ambientes com tais características, proporcionam maiores produções vegetais.

O déficit hídrico é comum à produção agrícola, se fazendo presente na produção de várias culturas, podendo impactar significativamente no crescimento e desenvolvimento vegetal (CHAVES et al., 2002). A baixa disponibilidade de água no solo acarreta na redução do crescimento e desenvolvimento vegetal, além de diminuir a produtividade de culturas agrícolas (FANCELLI, DOURADO NETO, 2005; KERBAUY, 2009).

A produtividade vegetal é restrita principalmente devido à redução do crescimento e distribuição radicial das plantas, além da degradação de solos, causada pela compactação do solo (ALBUQUERQUE, SANGOI, ENDER, 2001; SILVA et al., 2009). Esses autores chegam ao consenso que a principal causa da redução da produtividade e da má distribuição radicial é a redução do suprimento de água e nutrientes às plantas devido à dificuldade de movimentação dos mesmos no solo.

A habilidade das plantas em absorver água e nutrientes depende da distribuição de raízes no perfil do solo, a qual é influenciada por limitações físicas e químicas, estas passíveis de alterações pelas práticas de manejo do solo (FREDDI et al., 2007). A compactação excessiva pode limitar a absorção de nutrientes, a infiltração e redistribuição de água no solo, as trocas gasosas e o desenvolvimento do sistema radicial e da parte aérea de plantas (GHOHMANN, QUEIROZ NETO, 1996; FREDDI et al., 2007). Por exemplo, a menor disponibilidade de água, observada com maior frequência em solos com maior densidade, reduz o intervalo hídrico ótimo (IHO) e a produtividade de milho (FREDDI et al., 2007).

A planta apresenta internamente um conflito entre a conservação da água e o processo de assimilação de CO₂ para produção de carboidratos (TAIZ, ZEIGER, 2013). Para reduzir problemas devido a esse conflito, a planta desenvolve mecanismos morfofisiológicos, que favorecem a economia de água para usar posteriormente (SAHA et al., 2008) e atingir a produção de sementes.

A baixa disponibilidade de água no solo, devido a períodos de baixa precipitação pluvial, reduz a condutância estomática e influencia diretamente na transpiração,

fotossíntese e temperatura das folhas, podendo causar prejuízos e impactando severamente na produção agrícola (MENDES et al., 2007; SANTOS et al., 2009b).

Sistemas de produção que visam a conservação do solo provocam a alteração de propriedades físicas de solo, mais diretamente, afetando o armazenamento da água no solo (BESCANSÁ et al., 2006; DALMAGO et al., 2009). Por isso, antes de qualquer modificação ou implementação de um novo sistema de produção, é importante a compreensão de cada consequência futura (SAHRAWAT et al., 2010).

Assim, plantas submetidas ao estresse por déficit hídrico podem apresentar baixa absorção de água e problemas no arrefecimento de tecidos. Essa redução no movimento da água na planta causa o aumento da temperatura de folhas, reduz a eficiência fotossintética pela baixa assimilação de CO₂ (FRANÇOIS, 2012; FERNANDES et al., 2015; SANTOS et al., 2009b), prejudica a alocação de fotoassimilados e reduz o rendimento de grãos (FERNANDES et al., 2015).

2.5.1 Processo de evapotranspiração

Juntos, os processos de evaporação da água do solo e das folhas dos vegetais para a atmosfera, consistem no processo chamado evapotranspiração. Esse processo permite a passagem da água que estava armazenada no solo ou na planta na forma líquida para a atmosfera na forma de vapor (MARTINS, 2010). A mudança de fase líquida para gasosa é influenciada pelo aumento da energia cinética das moléculas de água e sua quebra da energia de ligação ou forças moleculares de coesão (LIBARDI, 2005).

Existem forças de tensão superficial da água que impedem que as moléculas de vapor passem para a atmosfera, mas que são quebradas quando a energia interna de agitação das mesmas for maior que a energia de ligação molecular na superfície evaporante. A quantidade de energia de 590 calorias por grama de água, à uma temperatura de 15 °C são condições ideais para que ocorra essa quebra. Assim, as moléculas de água quebram suas ligações e saem para a atmosfera, carregando juntamente a energia em forma de calor latente de evaporação (OMETTO, 1981).

Martins (2010) explica que toda essa energia é oriunda da radiação solar, e temperatura do ar, através da advecção, em menor escala. Paralelo a esse processo, a

diferença de pressão de vapor de água da superfície evaporante e a atmosfera impulsiona a saída de água para a atmosfera. Esse processo acontece em intensidade decrescente até a condição de equilíbrio entre a superfície evaporante e o ar circundante. No entanto, com a ação do vento, dependendo da sua velocidade, o ar circundante saturado é substituído por ar seco e o processo de evaporação da água da superfície evaporante inicia novamente.

A radiação solar, temperatura do ar, déficit de saturação e velocidade do vento são elementos climatológicos que influenciam diretamente o processo de evapotranspiração da água (ALLEN et al., 2005). Juntos, esses elementos formam a demanda evaporativa da atmosfera (DALMAGO, 2004).

Vale salientar que a cobertura do solo e a quantidade de água na superfície evaporante (planta ou solo) são fatores que interferem também no processo de evapotranspiração. Três condições são necessárias para que o processo de evapotranspiração seja contínuo (MARTINS, 2010): A) a superfície do solo deve receber energia radiante continuamente; B) deve ocorrer diferença de pressão de vapor entre a superfície evaporante e o ar, caracterizando o déficit de saturação; e C) deve haver suprimento contínuo de água do interior do solo à superfície, onde ocorre a evaporação.

As duas primeiras condições (A e B) dependem diretamente das variáveis climatológicas (HILLEL, 1973), e dependem de características da superfície como cor e rugosidade, o que refletem na energia disponível e a velocidade do vento (OMETTO, 1981). Ou seja, a presença de plantas na superfície do solo impede a incidência direta da radiação solar sobre o solo e reduz a troca do ar próximo a superfície do solo através da redução da velocidade do vento nessa região. A presença de cobertura morta no solo incide principalmente sobre lavouras ou unidades agrícolas de produção, que adotam sistemas monocultivos, em que ao menos uma parte do ano, o solo permanece descoberto. Durante esse período, o armazenamento de água no solo é comprometido pela evaporação contínua de água, acarretando em menor quantidade de água disponível às plantas para o próximo cultivo.

A condição C é dependente do potencial matricial e de condições de transferência do meio, como a condutividade hidráulica, para que, juntos consigam manter uma taxa máxima de perda de água por evaporação (HILLEL, 1973). É importante salientar nesse contexto, que a permanência do solo coberto por plantas evita a compactação desse solo.

A compactação do solo reduz significativamente a sua condutividade hidráulica. A implicação do uso de sistemas multiespecíficos, a rotação de culturas e a cobertura do solo durante todo ano é a possibilidade de perder menos água pelo processo de evaporação, já que maior volume de água pode ser armazenado, e favorecer o processo de condutividade hidráulica pela menor compactação e degradação desse solo.

A presença e o desenvolvimento da cultura influenciam na velocidade de extração de água do solo, a qual também é variável com o tempo, em função do crescimento da área foliar e da expansão do sistema radicial. O aumento da área foliar das plantas permite maior interceptação da radiação solar (PETRY et al., 2007), elevando a demanda de água da cultura e, por conseguinte, ocasionando uma maior extração de água do solo. Já o crescimento radicial, contribui para o avanço da extração, onde, à medida que aumenta o volume do solo explorado, aumenta também a eficiência de absorção de água ao longo da arquitetura radicial (BASSOI et al., 1994).

Dessa forma, períodos de longa estiagem, dependendo do número de dias e do manejo adotados nesse solo, podem acarretar em redução drástica no volume de água no solo, levando a planta a um estado de estresse por déficit hídrico (FERNANDES et al., 2015).

2.5.2 Indicadores da condição hídrica em sistemas de produção agrícolas

No Brasil, o déficit hídrico é observado constantemente, e em maior recorrência que o excesso hídrico. No entanto, o comportamento da produção vegetal pode sofrer influências mesmo em anos considerados favoráveis, pois a ocorrência de déficit hídrico em fases consideradas críticas para as culturas acarretam em perdas drásticas na produção. Culturas de milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*) são hoje dois dos principais cultivos do país e é facilmente são inseridos em sistemas de rotação de culturas (RESTOVICH et al., 2005; SULC & TRACY, 2007; SANTOS et al., 2014b; 2015).

O déficit hídrico reduz o crescimento do milho no período vegetativo devido a redução da área foliar e da biomassa da planta (BERGAMASCHI et al., 2007). No entanto, salienta-se que nesse período a formação dos componentes do rendimento ainda não se iniciou. Dessa forma, a influência do déficit hídrico sobre a produção de grãos

ainda é atenuada posteriormente se as condições hídricas se tornarem favoráveis (KRON et al., 2009). Assim, o produtor pode obter níveis desejados de produtividade.

Especificamente, na cultura do milho, problemas na produtividade são observados quando o déficit hídrico ocorre entre a antese e o início de enchimento de grãos (BERGONCI et al., 2001; BERGAMASCHI et al., 2004), pois, a recuperação da capacidade produtiva da cultura não poderá ocorrer de forma desejada, sendo que o desenvolvimento reprodutivo é mais rápido do que o desenvolvimento vegetativo.

O déficit hídrico provoca alterações na planta, cuja irreversibilidade depende do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta (MEDICI et al., 2007). Para haver melhor compreensão do comportamento vegetal sob estresse por déficit hídrico, é importante salientar o conhecimento sobre a capacidade que o solo possui em armazenar água e verificar como os mecanismos da planta reagem à redução desse nível de armazenamento de água (MARTINS, 2010). A capacidade de armazenamento de água no solo e também o volume de água disponível às plantas variam com a textura e as características físicas do solo, como visto anteriormente (Item 2.5).

Taiz e Zeiger (2013) definem o déficit hídrico como o processo que ocorre quando o conteúdo de água no tecido ou célula vegetal é reduzido e fica abaixo do volume de hidratação máxima da célula. O déficit hídrico pode ser medido na planta pela análise direta do conteúdo de água da folha ou indiretamente pelo estado energético da água nos distintos órgãos vegetais (LARCHER, 2000).

O movimento hídrico ocorre em função da diferença de seu potencial, movendo-se do ponto de maior para os pontos de menor potencial (MARTINS, 2010). Dessa forma, o potencial da água no solo deve ser maior que o encontrado na planta, e este maior que o encontrado na atmosfera, para que no final o fluxo de água mantenha-se no sistema solo-planta-atmosfera. Quando a transpiração foliar é maior que a absorção de água pelo sistema radicial, a planta apresenta balanço hídrico negativo, podendo ocorrer diariamente e caracterizada como déficit hídrico de curto prazo (SOUZA, CARDOSO, 2003). Esse pode ser revertido através da manutenção da absorção de água pelas pelo sistema radicial durante o período noturno e pela abertura estomática (BIANCHI, 2004).

Entretanto, o estresse por déficit hídrico de longo prazo acontece quando o conteúdo de água na planta não pode ser mais recuperado mesmo após esse período

noturno de reduzida transpiração. Isso deve-se ao reduzido volume de água no solo e à elevada demanda evaporativa durante um longo período, o que aumenta a resistência no sistema solo-raiz (LARCHER, 2000). Quando as plantas são submetidas ao estresse por déficit hídrico, respondem fisiologicamente de modo a conservar a água no solo, economizando água para momentos oportunos (KRON et al., 2009).

O reduzido crescimento das plantas causado pelo déficit hídrico deve-se às reduções dos níveis de carbono na planta, importante nos processos de fotossíntese e respiração (FLEXAS et al., 2006). A menor difusão de CO₂ da atmosfera para a folha é o principal processo que acarreta na redução da taxa fotossintética em condições de déficit hídrico (CHAVES, OLIVEIRA, 2004; FLEXAS et al., 2004). Essa redução na capacidade de difusão de CO₂ para a folha é causada pelo fechamento estomático (WARREN et al., 2004).

O fechamento estomático é causado pela redução da turgescência das células, importante na manutenção do turgor celular e que permite o crescimento vegetal, expansão e divisão celular e o processo de fotossíntese (OTIENO et al., 2006). Durante períodos com déficit hídrico, a manutenção do crescimento vegetal depende da capacidade da planta em manter a turgescência celular, processo conhecido como ajustamento osmótico (NIU et al., 2003).

O déficit hídrico implica na alteração de praticamente todos os processos de desenvolvimento das culturas: reduz área foliar (pela redução do crescimento vegetal ou favorecimento da senescência foliar); redução na taxa fotossintética (devido à redução da área foliar, murchamento e enrolamento de folhas e fechamento estomático) e ainda, afeta brotação, polinização, absorção de nutrientes e translocação de fotossintatos (BERGAMASCHI et al., 2006). Esses pontos são de extrema importância para implantar sistemas de produção mais atrativos economicamente e sustentáveis.

3 CAPÍTULO I - PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO SOB SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

3.1 Resumo

Implementar sistemas de produção que utilizam eficientemente os recursos disponíveis no ambiente de produção, conjugado à melhoria da qualidade de solo e redução do consumo de insumos externos, como fertilizantes, é o principal desafio da produção agrícola. O objetivo do trabalho foi avaliar se o tipo de composição multiespecífica de sistemas de produção com plantas forrageiras melhora propriedades químicas do solo. Foram avaliados três sistemas de produção, sendo: produção de grãos (Sistema I); grãos com pastagem anual de inverno (Sistema II); e grãos com inserção de grama bermuda/sobressemeadura de anuais de inverno (Sistema III), adicionando ainda a área apenas com grama bermuda e área de mata. Após a implantação do experimento em 1993, foram avaliados atributos químicos do solo com 7, 9, 12, 15, 17, 19, 22 anos após a implantação do experimento. Essas análises decorreram em quatro camadas de solo (0-5cm; 5-10cm; 10-15cm; 15-20cm), sem considerar esse como fator de variação. O pH e teores de alumínio foram influenciados pelos sistemas de produção na camada de 5 a 20 cm. A inserção da grama bermuda acarretou em reduções nos teores de fósforo (até 10 cm) e potássio (até 20 cm), e aumentos os teores de magnésio e matéria orgânica na camada de solo de 0 a 20 cm.

Palavras-chave: 1. Ciclagem de nutrientes. 2. Vazio Forrageiro. 3. Integração Lavoura-Pecuária. 4. Sistemas multiespecíficos. 5. Forrageiras.

3.2 Introdução

A implementação de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA's) aborda diversos fundamentos, dentre eles, de correção da acidez e fertilidade do solo (ENTZ et al., 2002; RAO et al., 2003; BALBINOT JUNIOR et al., 2009). Nesse contexto, a alternativa mais apropriada é o uso de um sistema de produção que ocupe eficientemente os recursos disponíveis no ambiente de produção, conjugado à melhoria da qualidade de solo, redução do consumo de insumos externos e geração de maior eficiência econômica.

O SIPA é um sistema de produção adotado a nível mundial, estando presente em mais de 25 milhões de quilômetros quadrados (BELL & MOORE, 2012, CARVALHO et al., 2014), sendo responsável por metade da produção mundial de alimentos, além de envolver aproximadamente 65% dos bovinos de corte, 75% dos bovinos de leite e 55%

dos ovinos nos países em desenvolvimento, onde se inclui o Brasil (HERRERO et al., 2010; WRIGHT et al., 2012).

Devido a esse nível de importância, esse tipo de produção é de suma importância para a alimentação humana advinda da área agrícola, garantindo a segurança alimentar mundial (CARVALHO et al., 2014). A segurança alimentar depende de sistemas produtivos mais sustentáveis, ganhando em eficiência e sem usar maior área de terra, água ou insumos, principalmente fertilizantes (HERRERO et al., 2010). O SIPA ganhou notoriedade frente ao grande predomínio de sistemas intensivos, que usam grandes quantidades de insumos externos, principalmente fertilizantes fosforados e potássicos, e se caracterizam pela baixa biodiversidade (LEMAIRE et al., 2014).

A maior velocidade na ciclagem de nutrientes é uma das principais vantagens da implementação dos SIPA's (BALBINOT JUNIOR et al., 2009). Os teores de carbono orgânico no solo, contidos na matéria orgânica, são incrementados significativamente ao longo do tempo, principalmente devido ao crescimento contínuo de plantas na área, através da rotação de culturas, acrescendo a quantidade de massa produzida (TRACY & ZHANG, 2008). Esses teores de carbono orgânico podem ser utilizados para balizar a qualidade do solo (SINGER & EWING, 2000; CONCEIÇÃO et al., 2005), pois, influencia as demais propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (BALBINOT JUNIOR et al., 2009). Além disso, práticas de calagem do solo, adotadas em quase todos os tipos de solos, podem influenciar a concentração de alguns nutrientes, como cálcio e magnésio, aumentar os valores de pH e reduzir a concentração de alumínio trocável.

A principal pergunta que se busca responder é: qual o impacto do tipo de consorciações multiespecíficas em rotação com culturas anuais ou com pastagem perene, na qualidade química do solo? Se o tipo de composição multiespecífica de sistemas de produção, com plantas forrageiras em sucessão com culturas anuais ou pastagens perenes é fator determinante para a alteração da qualidade química de solos em sistemas integrados de produção agropecuária, então a inclusão de pastagem perene irá melhorar as propriedades químicas do solo, principalmente na superfície do solo quando comparada a misturas sem multiespecificidade e em sucessão com culturas graníferas de verão.

Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar se o tipo de composição multiespecífica de sistemas de produção, com plantas forrageiras em sucessão com culturas anuais ou pastagens perenes, altera aspectos relacionados às propriedades químicas do solo.

3.3 Material e Métodos

3.3.1 Descrição da área experimental

Sistemas de produção multiespecíficos foram implantados no ano de 1993 no município de Passo Fundo - RS, em Latossolo vermelho distrófico típico (STRECK et al., 2008), de textura argilosa e relevo suave ondulado e sob sistema de semeadura direta. A área situa-se sob coordenadas 28°13'18,89"S e 52°24'12,2"O, com elevação de 664m. O clima é classificado como Cfa de acordo com a Köppen e Geiger. Em Passo Fundo a temperatura média é 17.9 °C e 1746 mm é o valor da pluviosidade média anual.

3.3.2 Delineamento experimental

O experimento foi composto por 35 tratamentos em esquema fatorial, sendo sistemas de produção (Tabela 1) x anos após implantação (7, 9, 12, 15, 17, 19 e 22 anos). Esse experimento foi avaliado em quatro camadas de solo (0-5; 5-10; 10-15 e 15-20 cm), sem considerar “camada de solo” como fator de variação. A condução do experimento foi sob delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. A área de cada parcela foi de 400 m² (20 m x 20 m) (Apêndice I).

As rotações foram alocadas nas parcelas de modo que todas as sucessões inverno/verão fossem estudadas em todos os anos, desde a implantação do experimento. A cada ano, as sucessões eram rotacionadas em subparcelas. Ressalta-se que para o “Sistema III”, em subparcela de 200 m² (10m x 20 m), foi implantado no verão, a grama bermuda tifton 85 (*Cynodon spp.*) (híbrido F1 entre tifton 68 x P1290884), espécie perene que permaneceu por três anos na mesma subparcela. Em cada inverno, nesses três anos, foi realizada sobsobressemeadura de espécies anuais de inverno (Tabela 2). Enquanto na

outra subparcela de 200 m² se conduziu os anos 1, 2 e 3. Após esse o período de três anos, a área de grama bermuda/sobressemeadura foi dessecada e subdividida em subparcelas, sendo implantadas as sucessões de produção de grãos (Anos 1, 2, e 3). Nas subparcelas de produção de grãos foi implantada a grama bermuda/sobressemeadura.

Tabela 1 - Disposição do fator Sistema de produção. Passo Fundo, 2019

Ano	SISTEMA I	SISTEMA II	SISTEMA III
2014	Ano 1 (inverno/verão) Trigo/soja	Ano 1 (inverno/verão) Trigo/soja	Ano 1, 2 e 3 (inverno/verão) Aveia-preta + azevém + trevo branco + trevo vermelho + cornichão/Tifton 85
2015	Ano 2 (inverno/verão) Ervilhaca/milho	Ano 2 (inverno/verão) Pastagem de Aveia-preta + ervilhaca/soja	
2016	Ano 3 (inverno/verão) Aveia-branca/soja	Ano 3 (inverno/verão) Aveia-branca/soja	
2017			Ano 4 (inverno/verão) Trigo/soja
2018			Ano 5 (inverno/verão) Ervilhaca/milho
2019			Ano 6 (inverno/verão) Aveia-branca/soja

Cada cultura foi alocada em subparcela, de modo que todas culturas fossem conduzidas todos os anos agrícolas. Para facilitar a comparação e o efeito da inserção da grama bermuda com sobressemeadura de inverno no sistema de produção III, esses dados foram analisados separadamente da parte de produção de grãos. Ainda, amostras de uma área de mata, próxima ao experimento, foram avaliadas, afim de determinar aspectos químicos do solo original, sem que houvesse interferência do cultivo agrícola. SISTEMA I: Sistema “grãos”; SISTEMA II: Sistema “grão+aveia-preta; Sistema III: nesse sistema estão contidos os sistemas, “grão+perene”, sendo o ano 4, 5 e 6, e o sistema “bermuda”, sendo os anos 1,2 e 3.

Cada sistema de produção foi escolhido baseando-se principalmente em propriedades rurais do estado do Rio Grande do Sul. O sistema I é usado por produtores que possuem estritamente o objetivo de produzir grãos. O sistema II é usado por produtores que geralmente optam ou desejam maior acúmulo de matéria seca no sistema através de cobertura de inverno e/ou uso como pastagem, através da adição de aveia preta + ervilhaca. O sistema III é usado por produtores que exercem a atividade pecuária, seja

leiteira ou de corte, inserindo uma diversidade grande de espécies forrageiras, sejam perenes e anuais. Análises foram realizadas na área de mata para efeito de comparação com o solo original, ou seja, antes da implantação de cultivos agrícolas.

3.3.3 Procedimentos culturais

Na implantação do experimento, o pH do solo foi corrigido a 5,5 até 20 cm de profundidade e os teores de nutrientes corrigidos ao teor médio, como indicado no Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC, do ano corrente, editado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo, sendo o mais atual editado em 2016 (CQFS RS/SC, 2016). No 15º ano após a implantação do experimento, foi realizada calagem, com dose de 2 t/ha de CaCO_3 . A cada ano, realizou-se o manejo de adubação de manutenção para cada cultura, baseado no mesmo manual. O manejo de pragas e doenças foi realizado de acordo com a necessidade, com produtos registrados no Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento para a cultura específica.

3.3.4 Aspectos avaliados

As avaliações foram pH do solo (pH), teor de alumínio (Al^{3+}), teores de matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). As amostras foram coletadas com auxílio de pá de corte e separadas de acordo com a profundidade desejada. Foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificados, e levadas ao Laboratório de Solos da Embrapa Trigo de Passo Fundo – RS para análise. Uma subamostragem para cada subparcela foi realizada e posteriormente calculada a média para cada sistema de produção em cada repetição.

3.3.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância e, em caso de interação entre fatores, os efeitos simples foram analisados. Para análise do efeito de sistemas de produção, se comparou as médias através de Tukey ($p < 0,05$), enquanto para efeito do

tempo após implantação, foi utilizada análise de regressão. Quando os modelos estatísticos não foram significativos, as médias foram comparadas através do teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.4 Resultados

Na camada de solo de 0 a 5 centímetros, não houve interação entre sistema de produção x ano de cultivo para nenhum aspecto avaliado. Isoladamente, houve efeito significativo dos sistemas de produção sobre os teores de fósforo, potássio e magnésio. O tempo após a implantação desses sistemas de produção influenciou o pH e os teores de alumínio, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Na camada de solo de 5 a 10 centímetros, não houve interação entre sistema de produção x ano de cultivo para nenhum aspecto avaliado. Isoladamente, houve efeito significativo dos sistemas de produção sobre o pH e sobre os teores de alumínio, matéria orgânica, fósforo, potássio e cálcio. O tempo após a implantação desses sistemas de produção influenciou o pH e os teores de alumínio, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Na camada de solo de 10 a 15 centímetros, não houve interação entre sistema de produção x ano de cultivo para nenhum aspecto avaliado. Isoladamente, houve efeito significativo dos sistemas de produção sobre o pH e sobre os teores de alumínio, potássio e cálcio. O tempo após a implantação desses sistemas de produção influenciou o pH e os teores de alumínio, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Na camada de solo de 15 a 20 centímetros, não houve interação entre sistema de produção x ano de cultivo para nenhum aspecto avaliado. Isoladamente, houve efeito significativo dos sistemas de produção sobre o pH e sobre os teores de alumínio, potássio, cálcio e magnésio. O tempo após a implantação desses sistemas de produção influenciou o pH e os teores de alumínio, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

Entre os sistemas de produção não houve diferença estatística para pH na camada de 0 a 5 cm. No entanto, se observou que todos os sistemas de produção apresentaram pH superior ao da mata, considerado solo original da área. Todos os sistemas de produção estudados permitiram aumentar os valores de pH do solo original. Dois momentos distintos foram observados no comportamento da acidez do solo durante o decorrer do

tempo. O ponto de divisão desses dois momentos, foi a calagem realizada no 15º ano após a implantação dos sistemas integrados da produção (2 t/ha de CaCO₃). Após a primeira correção do solo, realizada na implantação do experimento, houve manutenção do pH próximos de 5,2 até o 15º ano. Após o 17º ano, houve acréscimos significativos do pH, mantendo-se até o 22º ano próximos a 6,0 (Figura 1). A inserção da grama bermuda/sobressemeadura influenciou os valores de pH na camada de solo de 5 a 10 cm de profundidade. Bermuda+sobressemeadura aumentou o pH em relação a grãos+perene, indicando que esse sistema de produção favorece a correção do pH mais facilmente nessa camada. Nessa camada, foi possível ajustar um modelo matemático com comportamento quadrático, atingindo o valor mínimo de pH de 5,4 no 15º ano após a implantação dos sistemas de produção. Com a realização da calagem no 15º ano, o valor de pH aumentou até o 22º ano (Figura 1). Houve maiores valores de pH no solo com sistemas de produção em relação ao da mata na camada de solo de 10 a 15 cm. No sistema bermuda/sobressemeadura o pH do solo foi maior em relação ao sistema de produção de grãos. A calagem superficial no 15º ano não influenciou significativamente nessa camada de solo. Naturalmente, reduções no pH foram observadas (Figura 1). A inserção da grama bermuda/sobressemeadura permitiu a manutenção do pH próximo a 6, na camada de solo de 15 a 20 cm, principalmente devido ao revolvimento do solo, necessário para a implantação da forrageira, que permitiu a ação do calcário em maiores profundidades (Figura 1).

Não houve diferenças significativas entre os teores de alumínio nos sistemas de produção na camada de 0 a 5 cm. Os teores de alumínio foram bem menores quando comparados ao solo original. Como ocorrido com o pH, a calagem realizada no 15º ano possibilitou a redução dos teores de alumínio nos sistemas de produção, havendo, naturalmente, acréscimos com o decorrer do tempo (Figura 2). Influenciados principalmente pela calagem, os teores de alumínio no solo foram menores nos sistemas de produção em relação à mata na camada de solo de 5 a 10 cm. Mesmo em camada subsuperficial, possivelmente, houve influência do calcário sobre os teores de alumínio, indicando que o calcário pode agir nessa camada. Após o pH máximo de 5,1 no 15º ano, houve reduções nos teores de alumínio (Figura 2). Da mesma forma, o maior pH encontrado na bermuda/sobressemeadura vem ao encontro do menor teor de alumínio

nesse sistema na camada de solo de 10 a 15 cm. Esses teores foram menores que no solo de mata. Com o decorrer dos anos, houve aumento nos teores de alumínio no solo dos sistemas cultivados, mantendo-se próximos a 3,5 mg/kg (Figura 2). Não houve diferença significativa entre os teores de alumínio nos sistemas de produção, na camada de 15 a 20 cm. No solo de mata, se verificou que os teores de alumínio foram superiores aos sistemas de produção. Com o decorrer do tempo após a implantação dos sistemas de produção, houve aumento de 0,16 mg/kg nos teores de alumínio, a cada ano após a implantação dos sistemas de produção, na camada de solo de 15 a 20 cm. O efeito da correção do solo, realizada na implantação dos sistemas, foi sendo reduzido, e a nova correção de acidez não mais obteve efeito nessa profundidade, devido a baixa mobilidade do calcário no solo (Figura 2).

Não houve variações nos teores de matéria orgânica entre os sistemas de produção, no entanto, foram inferiores aos teores de matéria orgânica da mata na camada de solo de 0 a 5 cm. Isso indica que o cultivo de espécies vegetais, seja culturas de grãos ou forrageiras, causa o consumo de matéria orgânica em quantidade maior que a reposta por resíduos orgânicos. O balanço entre entradas e saídas de matéria orgânica no solo depende da taxa de decomposição de resíduos orgânicos e do consumo pelas plantas. No 9º, 15º e 22º houve maior teor de matéria orgânica. Também foram anos em que houve a retirada da bermuda/sobressemeadura e início da produção de grãos. Isso indica que após 3 anos de condução de bermuda/sobressemeadura houve incremento nos teores de matéria orgânica no solo (Figura 3). Na camada de solo de 5 a 10 cm, os maiores teores de matéria orgânica foram encontrados no solo com bermuda/sobressemeadura. No entanto, apenas o solo com Grãos/Aveia+Ervilhaca se diferenciou estatisticamente. Da mesma forma que na camada de 0 a 5 cm, não se ajustou um modelo matemático ao comportamento da matéria orgânica com o decorrer dos anos após a implantação dos sistemas de produção, havendo flutuações durante o período avaliado (Figura 3). Na camada de solo de 10 a 15 cm já não se verificou a influência do cultivo da grama bermuda/sobressemeadura sobre o aumento nos teores de matéria orgânica no solo. No solo da mata, se verificou teores de matéria orgânica superiores aos demais solos. Não foi possível ajustar um modelo matemático para o comportamento da matéria orgânica em relação ao tempo decorrido após a implantação dos sistemas de produção. Houve flutuações nesses teores durante o

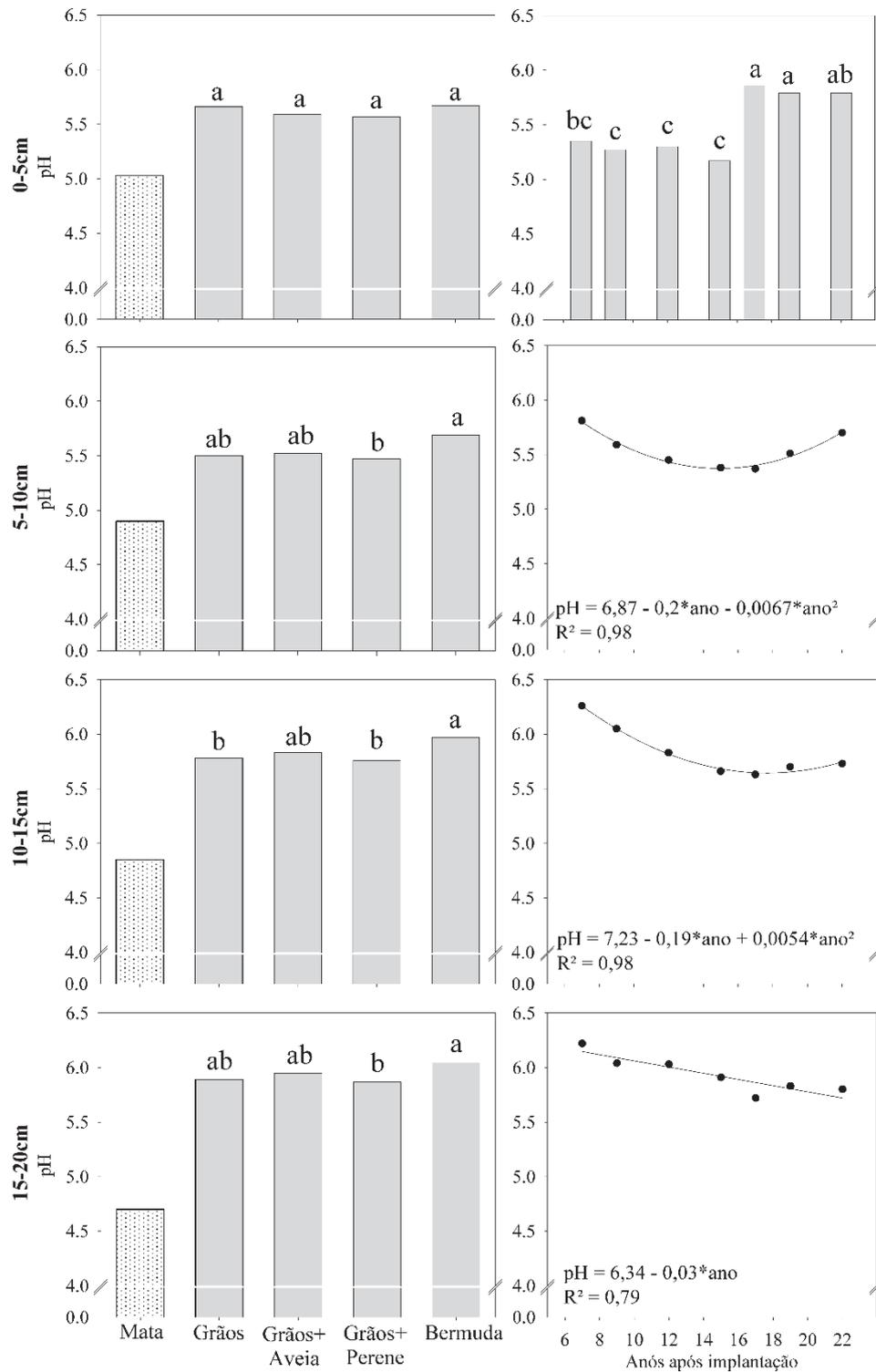
período avaliado (Figura 3). Os teores de matéria orgânica foram influenciados pela bermuda/sobressemeadura na camada de solo de 15 a 20 cm, havendo incremento em relação a inserção da aveia+ervilhaca. No 9º e 15º houve a retirada da grama bermuda/sobressemeadura, demonstrando que ao final de 3 anos após esse cultivo, maiores teores de matéria orgânica podem ser encontrados (Figura 3).

Por meio da fertilização indicada pelo manual de adubação foi possível aumentar os teores de fósforo, devido ao fato que todos os sistemas de produção estudados obtiveram maiores teores de fósforo em relação à mata na camada de solo de 0 a 5 cm. Dentre os tais, o sistema Grão+Aveia se destacou por apresentar os maiores teores de fósforo, podendo ser atribuído a manutenção da palhada de Aveia, sem haver exportação pela mesma. É importante ressaltar a redução nos teores de fósforo quando há inserção da grama bermuda/sobressemeadura no sistema de produção, possivelmente devido a sua exportação. Os teores de fósforo também foram incrementados com o passar do tempo, havendo aumento de 2,05 mg de fósforo/kg de solo a cada ano que se passou, durante o período analisado, na camada de solo de 0 a 5 cm (Figura 4). Os sistemas grão/aveia+ervilhaca e grama bermuda/sobressemeadura se destacaram por incrementar e reduzir, respectivamente, os teores de fósforo na camada de solo de 5 a 10 cm. O mesmo comportamento foi verificado na camada de 0 a 5 cm. O solo de mata obteve os menores teores de fósforo. Todos os sistemas de produção permitiram incrementar os teores de fósforo no solo, já que a adubação de manutenção é responsável por depositar esse nutriente no solo. É importante salientar que a grama bermuda/sobressemeadura também possibilita incrementar o teor de fósforo, mas em menores taxas que os demais sistemas de produção, possivelmente devido a sua maior exportação (acarretado também devido ao pastejo animal, juntamente com a matéria seca). O sistema grão+aveia permite aumentar os teores de fósforo em maior escala (Figura 4). Os teores de fósforo nos sistemas de produção, na camada de solo de 10 a 15 cm, foram superiores em relação a mata. Nessa camada não se verificou a redução significativa dos teores de fósforo pelo cultivo da grama bermuda/sobressemeadura (Figura 4). A redução significativa nos teores de fósforo no solo, causada pela grama bermuda/sobressemeadura nas camadas de solo mais superficiais, não foi verificada na camada de 15 a 20 cm. Os teores de fósforo sob sistemas de produção foram superiores à mata, permitindo afirmar que a reposição de

nutrientes, realizada com o cultivo do solo, aumenta os teores desse fósforo, mesmo na camada de 15 a 20 cm. Apesar de haver incremento linear dos teores de fósforo nessa camada do solo com o decorrer do tempo, foi verificado um valor de apenas 0,25 mg/kg a cada ano decorrido após a implantação dos sistemas de produção (Figura 4).

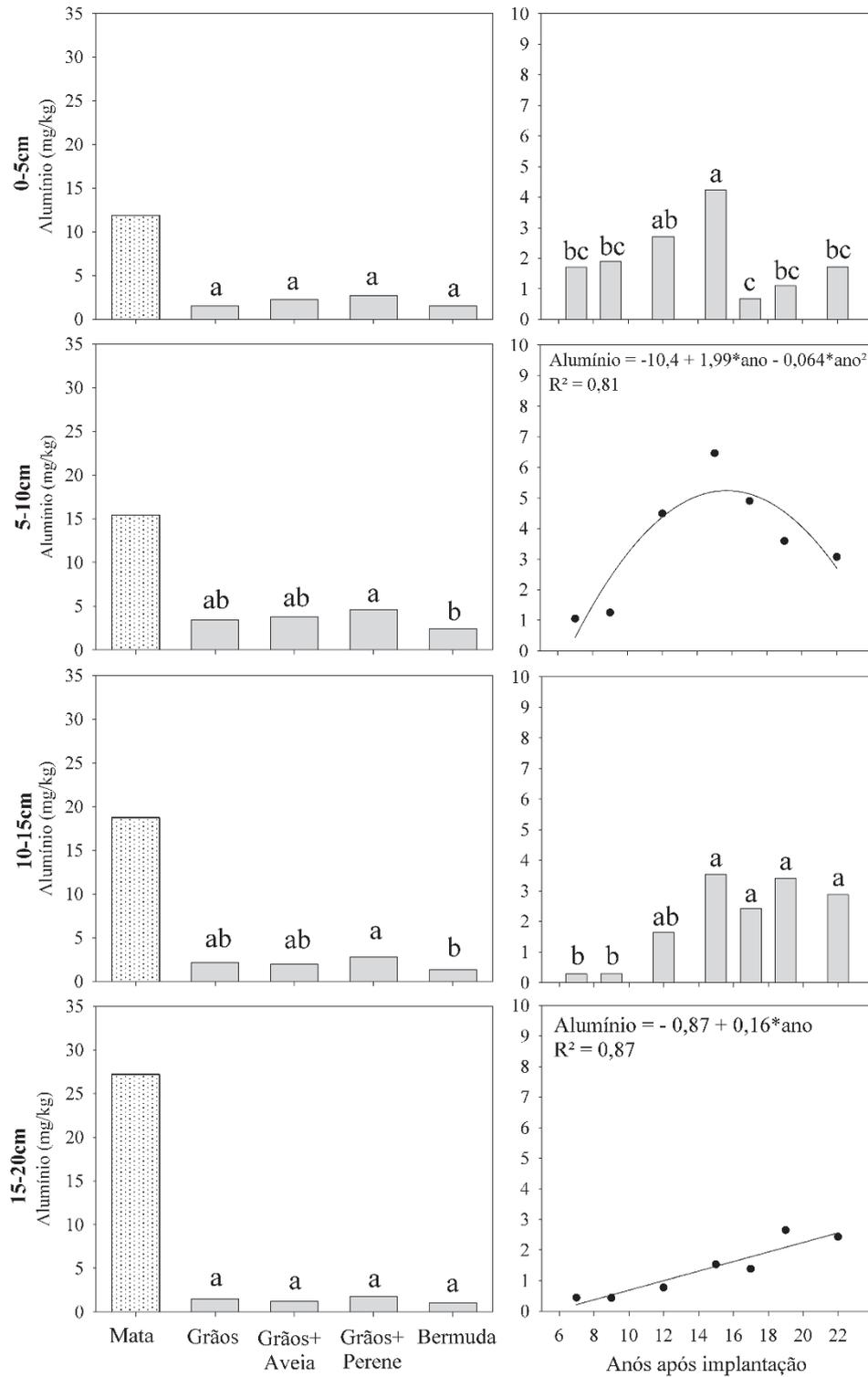
Da mesma forma que o fósforo, os teores de potássio foram maiores nos sistemas de produção em relação a mata na camada de 0 a 5 cm. Os teores de fósforo nos sistemas de grão e grão+aveia foram maiores, indicando possivelmente que o sistema com inserção da grama bermuda/sobressemeadura causa maior exportação desse nutriente. Durante o período avaliado, se observou incremento linear de 4,57 mg de potássio/kg de solo na camada de solo de 0 a 5 cm (Figura 5). Os sistemas de produção baseados em grãos permitiram aumentar os teores de potássio na camada de solo de 5 a 10 cm, em relação ao solo da mata. Enquanto a grama bermuda/sobressemeadura fez com que houvesse redução nos teores desse nutriente nessa camada. Os teores de potássio no solo com grama bermuda/sobressemeadura foram semelhantes ao solo de mata, evidenciando a alta demanda dessa espécie forrageira por esse nutriente. Os teores de potássio cresceram linearmente, com taxa de 3,4 mg/kg a cada ano após implantação dos sistemas de produção (Figura 5). Como anteriormente verificado em camadas de solo mais superficiais, a inserção da grama bermuda/sobressemeadura reduziu os teores de potássio na camada de solo de 10 a 15 cm em relação aos sistemas baseados em produção de grãos. Os teores de potássio no solo com a grama bermuda/sobressemeadura foram semelhantes aos teores no solo de mata, confirmando a alta exportação desse nutriente por esse sistema de produção. Durante o período avaliado, foi possível verificar incremento linear nos teores de potássio a uma taxa de 4,81 mg/kg a cada ano decorrido após a implantação dos sistemas de produção (Figura 5). Mesmo na camada de solo de 15 a 20 cm, a inserção da grama bermuda/sobressemeadura causou redução nos teores de potássio no solo em relação aos demais sistemas de produção, semelhante ao solo da mata. Sistemas baseados na produção de grãos obtiveram teores de potássio no solo superiores ao da mata. Foi observado um incremento linear de 4,96 mg/kg de potássio a cada ano decorrido da implantação dos sistemas de produção (Figura 5).

Figura 1 - Influência de sistemas de produção e anos após implantação sobre o pH de um Latossolo Vermelho na camada de 0 a 20 centímetros. Passo Fundo, 2019



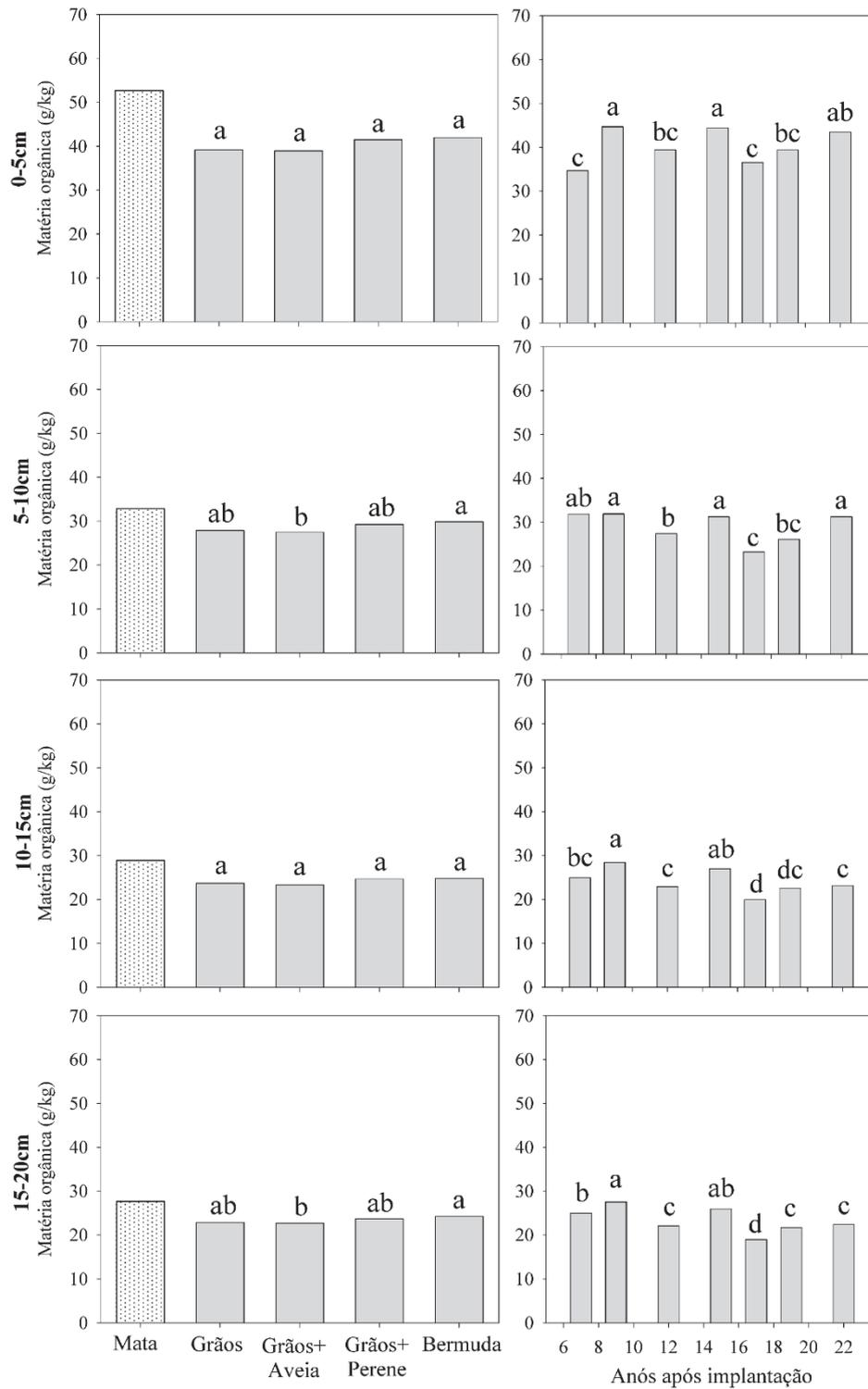
Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

Figura 2 - Influência de sistemas de produção e anos após implantação sobre o teor de alumínio de um Latossolo Vermelho na camada de 0 a 20 centímetros. Passo Fundo, 2019



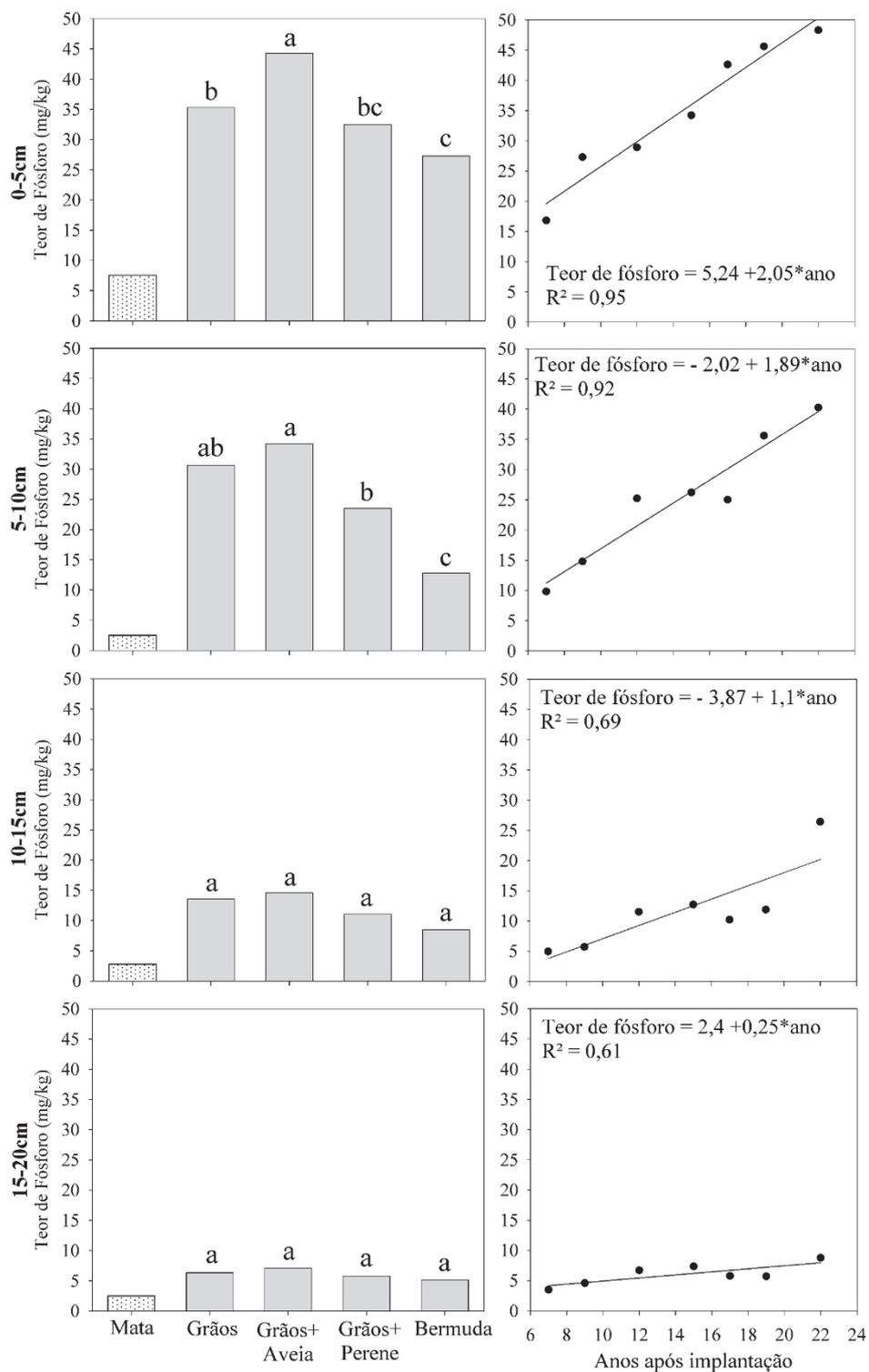
Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

Figura 3 - Influência de sistemas de produção e anos após implantação sobre a matéria orgânica de um Latossolo Vermelho na camada de 0 a 20 centímetros. Passo Fundo, 2019



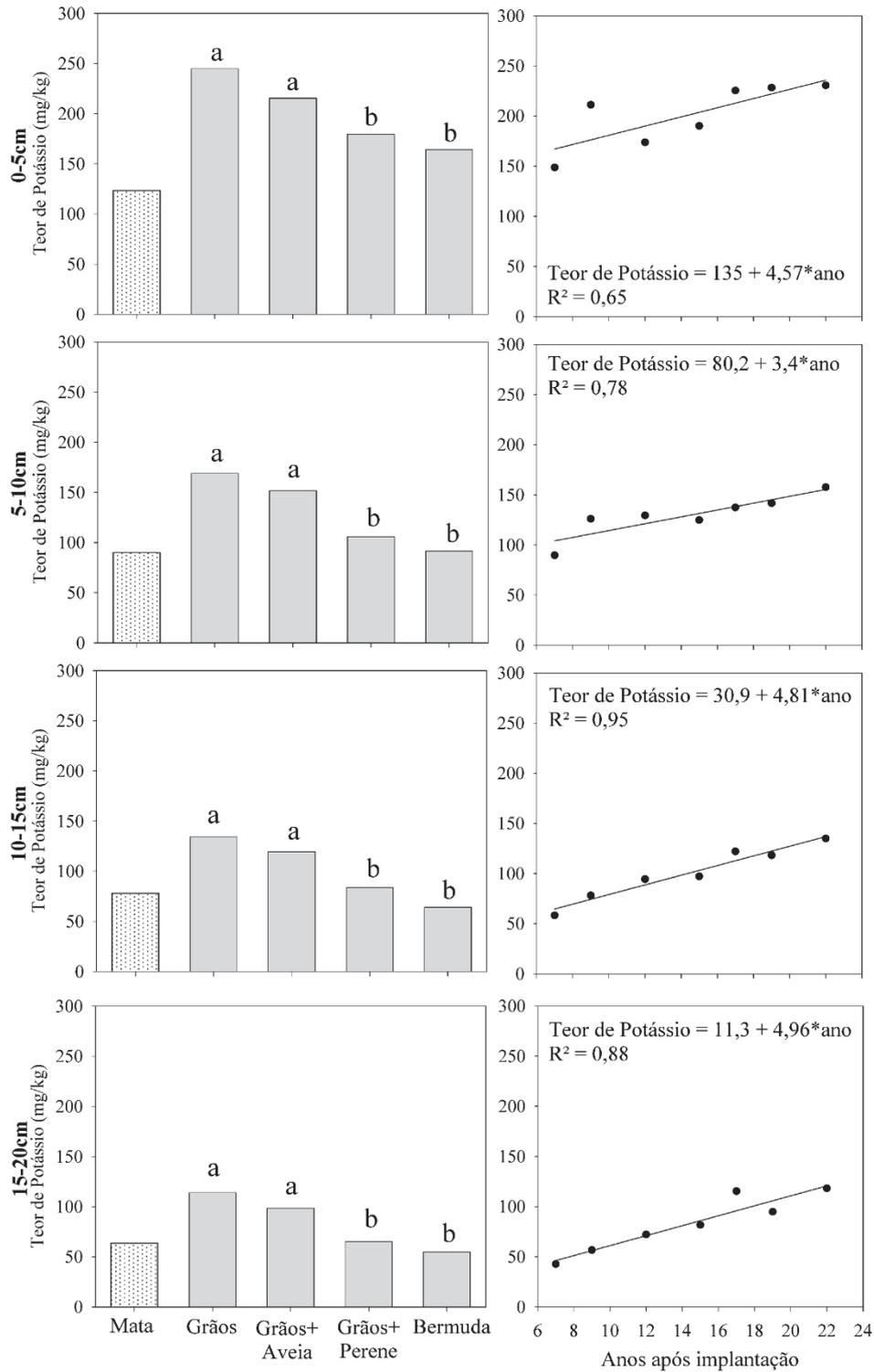
Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

Figura 4 - Influência de sistemas de produção e anos após implantação sobre o teor de fósforo de um Latossolo Vermelho na camada de 0 a 20 centímetros. Passo Fundo, 2019



Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

Figura 5 - Influência de sistemas de produção e anos após implantação sobre o teor de potássio de um Latossolo Vermelho na camada de 0 a 20 centímetros. Passo Fundo, 2019

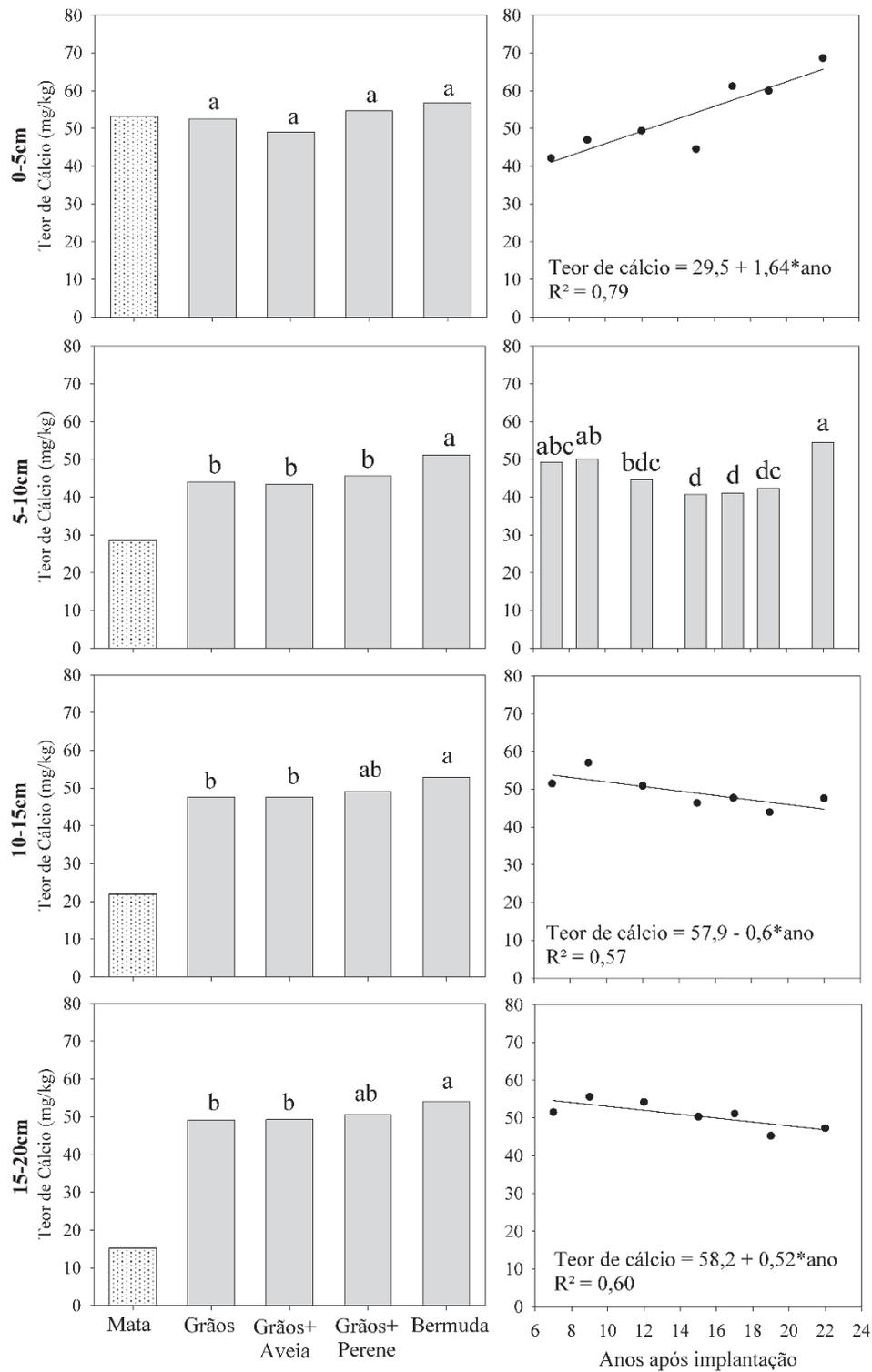


Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

Não houve diferença estatística entre os teores de cálcio nos sistemas de produção estudados na camada de solo de 0 a 5 cm. A média dos teores de cálcio no solo sob os sistemas de produção foi de 53,2 mg/kg. No período avaliado, se observou incremento linear de 1,64 mg de cálcio/kg de solo na camada de solo de 0 a 5 cm (Figura 6). Na camada de 5 a 10 cm houve maiores teores de cálcio no solo sob cultivo com bermuda/sobressemeadura. Nesse caso, a principal fonte de cálcio é a calagem, o que possivelmente, permitiu o aumento dos teores desse nutriente nos sistemas de produção em relação ao solo original. Houve efeito significativa da calagem apenas no 22º ano após a implantação dos sistemas de produção (Figura 6). Os teores de cálcio, nos sistemas cultivados, foram superiores ao encontrado no solo de mata. Da mesma forma que foi verificado no pH e nos teores de alumínio, na camada de solo de 10 a 15 cm, a calagem não influenciou os teores de cálcio dos solos sob sistemas de produção, havendo redução de 0,6 mg/kg desse nutriente a cada ano após a implantação dos sistemas de produção (Figura 6). Na camada de solo de 15 a 20 cm, foi verificado efeito da bermuda/sobressemeadura sobre os teores de cálcio no solo, sendo superior aos sistemas baseados na produção de grãos. Os teores de cálcio não responderam à calagem realizada no 12º ano após a implantação dos sistemas de produção, reduzindo 0,52 mg/kg a cada ano após a implantação dos sistemas de produção (Figura 6).

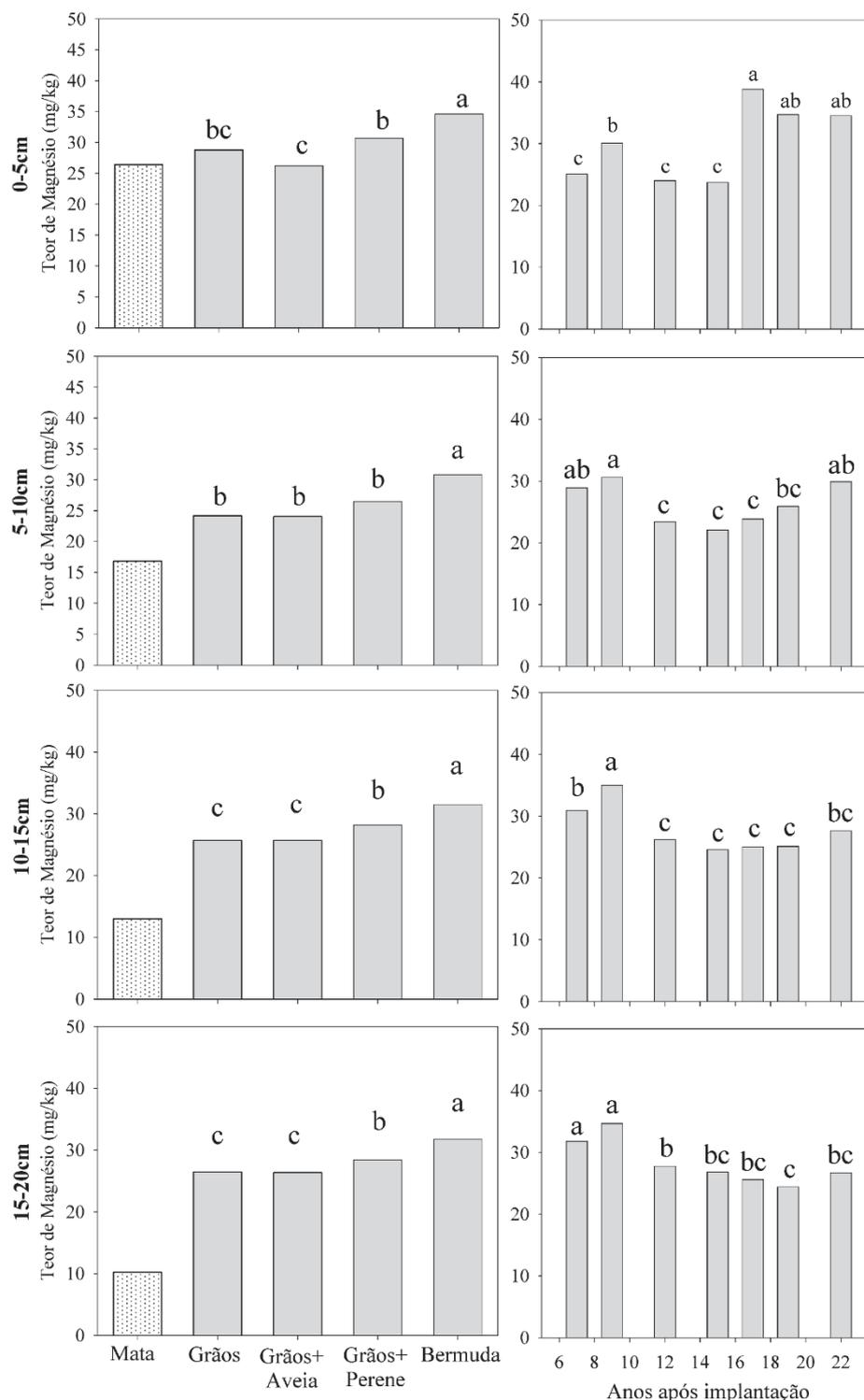
O sistema com inserção da grama bermuda/sobressemeadura permitiu a manutenção/aumento dos teores de magnésio no solo na camada de solo de 0 a 5 cm, devido a ciclagem de nutrientes, potencializada pela presença dessa forrageira perene. Verificou-se que enquanto há apenas produção de grão, os teores de magnésio comparam-se ao solo com produção de grão. Nenhuma função matemática ajustou-se aos teores de magnésio com o decorrer do tempo. No entanto, é possível observar maiores teores desse nutriente a partir do 17º ano após a implantação dos sistemas de produção, corroborando com a realização da calagem (Figura 7). Os teores de magnésio na camada de solo de 5 a 10 cm foram maiores com a inserção da grama bermuda/sobressemeadura. Os demais sistemas de produção apresentaram maiores teores que o solo da mata.

Figura 6 - Influência de sistemas de produção e anos após implantação sobre o teor de cálcio de um Latossolo Vermelho na camada de 0 a 20 centímetros. Passo Fundo, 2019



Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

Figura 7 - Influência de sistemas de produção e anos após implantaçãosobre o teor de magnésio de um Latossolo Vermelho na camada de 0 a 20 centímetros. Passo Fundo, 2019



Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

Não foi possível ajustar um modelo matemático com o comportamento dos teores de magnésio em relação ao tempo após a implantação dos sistemas de produção, mas houve aumento após a realização da calagem no 15º ano. Assim, constata-se que a calagem é uma fonte de cálcio e magnésio (Figura 7). Da mesma forma que o cálcio, o teor de magnésio no solo sob sistemas de produção foi maior que o encontrado na mata na camada de solo de 10 a 15 cm. O cultivo de grama bermuda/sobressemeadura causou aumento nos teores de magnésio em relação aos demais sistemas de produção, evidenciando sua importância na ciclagem de nutrientes. A calagem não mais foi fator de alteração nos teores de magnésio após o 15º ano após a implantação dos sistemas de produção (Figura 7). Com a inserção da grama bermuda/sobressemeadura na rotação de culturas, os teores de magnésio foram superiores aos demais sistemas de produção, na camada de 15 a 20 cm. Com o tempo decorrido, houveram reduções no teor de magnésio, sem haver efeito da calagem no 15º ano após a implantação dos sistemas de produção (Figura 7).

3.5 Discussão

3.5.1 pH e teores de alumínio e cálcio

Os sistemas de produção estudados não exerceram influência sobre o pH e os teores de alumínio e cálcio. No entanto, é importante ressaltar, nesse estudo, a influência da calagem sobre esses aspectos da química do solo. A calagem é uma ação importante em quase todos os tipos de solos, pois, tem a função de reduzir a acidez do solo, que por sua vez compromete a produção vegetal. Nesse estudo, a aplicação de CaCO_3 foi realizada em dois momentos, sendo na implantação do estudo (incorporado ao solo) e após decorridos 15 anos (superficial).

Mesmo realizada superficialmente, o calcário reduziu os valores de pH e alumínio e aumentou os teores de cálcio na camada de 0 a 10 cm. Era esperado que a aplicação de calcário reduzisse os valores de pH e alumínio, no entanto, é importante ressaltar que em alguns casos específicos, a aplicação superficial desse insumo pode não causar efeito em

camadas abaixo de 10 cm, e muitas vezes, havendo necessidade de incorporação ao solo, caso deseja-se alterar esses aspectos em maiores profundidades.

A aplicação superficial de calcário promove a formação de um gradiente alcalinizante que se move lentamente para camadas mais profundas (RHEINHEIMER et al., 2018). No entanto, essa velocidade depende do tempo, taxa, forma e método de aplicação do calcário, além do sistema de produção, característica do solo e condições climáticas (GATIBONI et al., 2003; FRANCHINI et al., 2004; KAMINSKI et al., 2005; LIMOUSIN & TESSIER, 2007; FAGERIA & BALIGAR, 2008; FLOWER & CRABTREE, 2011; CASTRO & CRUSCIOL, 2013; CAIRES et al., 2015).

Assim, percebeu-se, nesse trabalho, que após a calagem no 15º ano, o efeito da mesma se limitou a 10 cm. Em trabalho de RHEINHEIMER et al. (2018), foi observado que a aplicação de 3,6 ton/ha de calcário foi capaz de aumentar o pH apenas a uma profundidade de 5 cm com 12 anos após a aplicação. Nesse mesmo trabalho, os autores ainda verificaram que essa mesma dose de calcário foi capaz de reduzir os teores de alumínio apenas a 10 cm mesmo após 12 anos. Esses resultados vão ao encontro de que a aplicação em superfície do calcário necessita muito tempo para causar efeito em maiores profundidades sobre o pH e nos teores de alumínio.

Além de aumentar o pH e reduzir o teor de alumínio, se observou que a calagem possibilitou o aumento no teor de cálcio. O calcário possui em sua composição o cálcio e pode ser fonte desse nutriente no solo. DE VARGAS et al. (2019) observaram que solos com aplicação de calcário dolomítico apresentaram aumento nos teores de cálcio até a uma profundidade de 15 cm em relação ao controle (sem calagem).

3.5.2 Matéria orgânica

A principal observação em relação aos teores de matéria orgânica no solo é a sua flutuação durante o período avaliado. Houve aumentos/reduções nesses teores em distintos momentos após a implantação em todos os sistemas de produção. Em dado momento, a grama bermuda/sobressemeadura possibilitou ao solo manter teores de matéria orgânica semelhante ao solo da mata, considerados mais altos que os demais sistemas de produção baseados em grãos.

A matéria orgânica é composta por uma fração viva, chamada biomassa microbiana, e pode ser considerada como o reservatório lábil da matéria orgânica (FONSECA et al., 2007). Essa microbiota do solo tem a função de decompor os resíduos orgânicos, ciclar nutrientes e manter o fluxo de energia no solo (deterioração de resíduos orgânicos, contribuindo com manutenção do fluxo de energia na cadeia alimentar), mas é muito sensível às alterações no solo, causadas principalmente pelo uso e práticas de manejo (SALTON et al., 2008). Práticas de cultivo que rompem agregados de solo, responsáveis por proteger a matéria orgânica, reduzem o teor de matéria orgânica no solo (PASSOS et al., 2007). Essa afirmação foi desenvolvida por EDWARDS & BREMNER (1967).

Espécies vegetais de interesse agrícola, como gramíneas forrageiras perenes, possibilitam manter a agregação do solo, devido a baixa necessidade de revolvimento contínuo do solo e abundante sistema radicular, e podem permitir a manutenção dos teores de matéria orgânica no solo mais altos, além de repor quantidades significativas de resíduos orgânicos (BOENI, 2007).

FONSECA et al. (2007) observaram num Latossolo vermelho, que o teor de matéria orgânica aumentou 30% na camada de solo de 0 a 5 cm, quando espécies produtoras de grãos, como arroz, milho e soja, eram consorciadas com *Urochloa brizantha*.

3.5.3 Fósforo, potássio e magnésio

Foi observado reduções nos teores de fósforo e potássio quando inserida a grama bermuda/sobressemeadura em relação aos sistemas baseados em produção de grãos. Houve um acúmulo maior desses nutrientes nesses sistemas. SANTOS et al. (2009a) explicam que o acúmulo de nutrientes decorre da aplicação repetida de fertilizantes e acumulada em pequenas profundidades, em sistemas de produção de grãos. Ainda explicam, no uso de plantio direto, esse acúmulo é potencializado devido ao baixo revolvimento do solo.

No entanto, é importante ressaltar a necessidade nutricional da grama bermuda/sobressemeadura para que haja a correta reposição desses nutrientes no solo. As

forrageiras compõem um grupo numeroso e bastante heterogêneo, envolvendo gramíneas e leguminosas, de ciclo anual, bianual e perene, de estações fria e quente, podendo ser consorciadas ou não e adaptadas a diversas condições físicas (CQFS, 2016). Isso torna a exigência nutricional bastante específica de cada espécie e a determinação dessa exigência bastante complexa. O Manual de Adubação e Calagem para RS e SC determina que se deve adicionar 20 kg de K_2O para cada tonelada de matéria seca removida, considerando pastagem de estação seca, onde se inclui a grama Bermud/sobressemeadura (CQFS, 2016). Isso se deve ao fato de esse nutriente ser exportado em grande quantidade na matéria seca dessa espécie, devendo-se tomar cuidado quando o objetivo do produtor agrícola for pastejo ou utilização para silagem e feno.

Em trabalho realizado por MATEUS (2011), analisando a concentração de nutrientes na folha de uma grama bermuda, foi verificado que nitrogênio, fósforo e potássio foram os nutrientes analisados em maior concentração na folha, em média 41; 3,4 e 9 gramas por kg de folha, respectivamente. Enquanto o magnésio, foi o nutriente analisado em menor concentração na folha. Isso explica os aumentos nos teores de magnésio com a presença da grama bermuda/sobressemeadura, já que o mesmo não foi exportado pela cultura. Presume-se, então, que a grama bermuda exporta pequenas quantidades de magnésio em relação aos demais nutrientes, enquanto a calagem foi responsável por incrementar os teores desse nutriente no solo, gerando um balanço positivo desse nutriente.

3.6 Conclusões

A composição multiespecífica de sistemas de produção com espécies forrageiras causa alterações principalmente nos teores de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

O pH, teor de alumínio são alterados na camada de 5-20 cm pela inserção da grama bermuda/sobressemeadura num sistema de produção agropecuária, devido ao favorecimento da mobilidade do calcário, criada pela condição de solo menos compactado.

Os teores de matéria orgânica apresentam variações na camada de 0 a 20 cm com o decorrer do tempo. A grama bermuda/sobressemeadura favorece a manutenção dos teores de matéria orgânica no solo através da reposição de resíduos orgânicos.

A inserção da grama bermuda/sobressemeadura colabora com a redução nos teores de fósforo na camada de solo de 0 a 10 cm, e de potássio na camada de solo de 0 a 20 cm, devido a alta exportação desses nutrientes na massa seca.

A inserção da grama bermuda/sobressemeadura colabora com o aumento nos teores de magnésio na camada de solo de 0 a 20 cm devido a baixa exportação desse nutriente por essa cultura.

4 CAPÍTULO II - PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

4.1 Resumo

A degradação física do solo pode ocorrer dependendo do sistema de manejo adotado. A degradação pode ser reduzida se algumas precauções são tomadas, incluindo a integração da produção. O objetivo do trabalho foi avaliar se propriedades físico-hídricas são alteradas com a implementação de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. Foram testados três sistemas de produção, sendo: produção de grãos; grãos + forrageiras anuais de inverno; e grãos com inserção de grama bermuda/sobressemeadura. Foram avaliadas propriedades físico-hídricas em 6 profundidades (0-5cm; 5-10cm; 10-15cm; 15-20cm; 20-25cm e 25-30cm) no ano de 2017. Argila dispersa e índice de floculação não foram influenciados pelo sistema de produção. A bermuda/sobressemeadura reduziu densidade de sólidos, densidade e densidade relativa do solo, e aumentou porosidade total, representada pelo aumento da macroporosidade e o intervalo hídrico ótimo. A grama bermuda/sobressemeadura ainda reduziu a criptoporosidade em camadas mais profundas do solo. A curva de retenção da água não se diferenciou entre os sistemas de produção, no entanto, foi maior na mata. Sistemas de produção, com inserção de grama bermuda/sobressemeadura, possibilitam aumentar a qualidade do solo, reduzindo a densidade relativa do solo e aumentando a capacidade de aeração do solo, permitindo a criação de um ambiente mais propício no que diz respeito às condições hídricas.

Palavras-chave: 1. Densidade do solo. 2. Rotação de culturas. 3. Umidade do solo. 4. Estrutura de solo. 5. Porosidade total.

4.2 Introdução

A demanda por sistemas de produção mais sustentáveis gerou várias pesquisas em novos programas de rotação de culturas, baseados principalmente na produção agropecuária. Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA's) tem como objetivo intensificar o uso dos recursos presentes na área de cultivo afim de gerar maior ganho econômico e tornar a produção mais sustentável.

Trabalhos indicam que dependendo do sistema de produção adotado alguns atributos físicos do solo são afetados (ANJOS et al., 1994; ALBUQUERQUE et al., 1995; ANDREOLA et al., 2000; SPERA et al., 2004b). A densidade do solo pode ser afetada por cultivos que modificam a estrutura edáfica, arranjo e volume de poros (KLEIN, 2014).

Dessa forma, atributos físico-hídricas de interesse, como porosidade de aeração, agregação de partículas, retenção de água no solo e disponibilidade de água às plantas podem ser afetadas. Nem sempre o volume de água que está retida entre os pontos de capacidade de campo e ponto de murcha permanente fica disponível às plantas (KLEIN, 2014). Assim, se criou o conceito de faixa de umidade não limitante (LETEY, 1985), conhecida no Brasil por Intervalo hídrico ótimo (IHO) (TORMENA et al., 1998).

Outra variável física afetada pelo manejo é a densidade do solo. Para um mesmo solo, com a mesma densidade de sólidos, quanto maior for a porosidade, menor será a densidade desse solo (KLEIN, 2014). BELTRAME e TAYLOR (1980) afirmam que, as causas na alteração da densidade do solo podem ocorrer lentamente e de forma natural, através do processo de eluviação da argila. Esse aumento de densidade do solo, aproxima as partículas sólidas ali contidas e reduz o espaço de poroso, podendo afetar a infiltração e o armazenamento da água nesse solo (KLEIN, 2014). A estabilidade dos agregados pode definir a capacidade do solo em resistir a erosão. Através da análise de argila dispersa pode-se determinar a estabilidade do agregado do solo, onde maiores valores de argila dispersa indicam que o solo é mais suscetível ao processo de erosão (KLEIN, 2014).

Propriedades físicas do solo, como densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, curva de retenção de água, podem indicar algumas restrições para o adequado crescimento e desenvolvimento vegetal. Solos com sistemas de produção que possuem Alfafa (*Medicago sativa*) – uma leguminosa perene, por exemplo – podem apresentar menor densidade e maior porosidade total quando comparado a um solo com sistema baseado apenas na produção de grãos, como milho, soja, aveia branca e trigo (SPERA et al., 2004a).

Nesse contexto, SIPA's podem ser considerados capazes de conservar o solo e suas propriedades físicas, pois, sendo um tipo de cultivo consorciado, sucessivo e/ou rotacionado, tem o objetivo de gerar efeitos sinérgicos ao agroecossistema, afetando minimamente o meio ambiente, sendo viável socialmente e economicamente (BALBINO et al., 2011). No entanto, são sistema complexos no que diz respeito a manejo, de difícil compreensão e necessita um planejamento minucioso. É um sistema que pode envolver vários componentes, seja diferentes espécies vegetais e animais.

Dessa forma, a avaliação de propriedades do solo a longo prazo é de grande importância para assegurar resultados fidedignos (SANTOS et al., 2009a). O solo possui grande capacidade resilientes, pois é um sistema complexo envolvendo diversos componentes e processos, sejam físicos, químicos ou biológicos. O desenvolvimento de novos sistemas de produção agropecuários é de extrema importância científica e contribui para o desenvolvimento da sustentabilidade econômica da agricultura.

Baseado nesses pressupostos, o objetivo do trabalho foi avaliar se propriedades físico-hídricas são alteradas com a implementação de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária.

4.3 Material e Métodos

4.3.1 Descrição da área experimental

Sistemas de produção multiespecíficos foram implantados no ano de 1993 no município de Passo Fundo - RS, em Latossolo vermelho distrófico típico (STRECK et al., 2008), de textura argilosa e relevo suave ondulado e sob sistema de semeadura direta. O clima é classificado como Cfa de acordo com a Köppen e Geiger. Em Passo Fundo a temperatura média é 17,9 °C e 1746 mm é o valor da pluviosidade média anual.

4.3.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em esquema fatorial, sendo sistema de produção (Tabela 2) e seis camadas de solo (0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-25 e 25-30 centímetros). O delineamento experimental foi sob blocos casualizados, com quatro repetições. A área de cada parcela foi de 400 m² (20 m x 20 m) (Apêndice I).

As rotações foram alocadas nas parcelas de modo que todas as sucessões inverno/verão fossem estudadas em todos os anos, desde a implantação do experimento. A cada ano, as sucessões eram rotacionadas em subparcelas. Ressalta-se que para o “Sistema III”, em subparcela de 200 m² (10m x 20 m), foi implantado no verão, a grama bermuda tifton 85 (*Cynodon spp.*) (híbrido F1 entre tifton 68 x P1290884), espécie perene

que permaneceu por três anos na mesma subparcela. Em cada inverno, nesses três anos, foi realizada sobressemeadura de espécies anuais de inverno (Tabela 2). Enquanto na outra subparcela de 200 m² se conduziu os anos 1, 2 e 3. Após esse o período de três anos, a área de grama bermuda/sobressemeadura foi dessecada e subdividida em subparcelas, sendo implantadas as sucessões de produção de grãos (Anos 1, 2, e 3). Nas subparcelas de produção de grãos foi implantada a grama bermuda/sobressemeadura.

Tabela 2 - Disposição do fator Sistema de produção. Passo Fundo, 2018

ANO	SISTEMA I	SISTEMA II	SISTEMA III
2014	Ano 1 (inverno/verão) Trigo/soja	Ano 1 (inverno/verão) Trigo/soja	Ano 1, 2 e 3 (inverno/verão)
2015	Ano 2 (inverno/verão) Ervilhaca/milho	Ano 2 (inverno/verão) Pastagem de Aveia-preta + ervilhaca/soja	Aveia-preta + azevém + trevo branco + trevo vermelho + cornichão/Tifton 85
2016	Ano 3 (inverno/verão) Aveia-branca/soja	Ano 3 (inverno/verão) Aveia-branca/soja	
2017			Ano 4 (inverno/verão) Trigo/soja
2018			Ano 5 (inverno/verão) Ervilhaca/milho
2019			Ano 6 (inverno/verão) Aveia-branca/soja

Cada cultura foi alocada em subparcela, de modo que todas culturas fossem conduzidas todos os anos agrícolas. Para facilitar a comparação e o efeito da inserção da grama bermuda com sobressemeadura de inverno no sistema de produção III, esses dados foram analisados separadamente da parte de produção de grãos. Amostras de uma área de mata, próxima ao experimento, foram avaliadas, afim de determinar aspectos químicos do solo original, sem que houvesse interferência do cultivo agrícola. SISTEMA 1: Sistema “grãos”; SISTEMA II: Sistema “grão+aveia-preta; Sistema III: nesse sistema estão contidos os sistemas, “grão+perene”, sendo o ano 4, 5 e 6, e o sistema “bermuda”, sendo os anos 1,2 e 3.

Cada sistema de produção foi escolhido baseando-se principalmente no uso por produtores do estado do Rio Grande do Sul. O sistema I é largamente usado por produtores que tem estritamente o objetivo de produzir grãos. O sistema II é usado por produtores que geralmente optam ou desejam maior acúmulo de matéria seca no sistema

através de cobertura de inverno e/ou uso como pastagem (adição de aveia preta + ervilhaca). O sistema III é usado por produtores que largamente exercem a atividade pecuária, seja leiteira ou de corte, inserindo uma diversidade grande de espécies forrageiras. Análises foram realizadas na área de mata para efeito de comparação com o solo original, ou seja, antes da implantação de cultivos agrícolas.

4.3.3 Procedimentos culturais

Na implantação do experimento, o pH do solo foi corrigido a 5,5 até 20 centímetros de profundidade e os teores de nutrientes corrigidos ao Teor Médio, como indicado no Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC, do ano corrente, editado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo, sendo o mais atual editado em 2016 (CQFS RS/SC, 2016). A cada ano, realizou-se o manejo de adubação de manutenção para cada cultura, baseado no mesmo manual. O manejo de pragas e doenças foi realizado de acordo com a necessidade, com produtos registrados no Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento para a cultura específica.

4.3.4 Avaliações

Granulometria: afim de caracterização granulométrica, o solo foi analisado com o objetivo de quantificar frações de argila, silte e areia, dada em porcentagem (%). Foi utilizada a amostra de solo de estrutura deformada. Utilizou-se o método da pipeta. Foram pesados 40g de terra fina e acondicionados em um vidro com volume de 600ml, juntamente com 250ml de água destilada e 100ml de solução Calgon. Foram direcionadas ao agitador a 120 ciclos por minuto por 16 horas. A solução é vazada em malha de 0,053 mm (270 mesh) para reter a fração areia, até preencher 1 litro de água na proveta. Foram realizadas duas pipetagens na proveta, sendo a primeira para determinar silte + argila, logo após agitação intensa, e a segunda após 4 horas (sem agitação) para determinar a fração argila. As alíquotas foram levadas a estufa a 105 °C por 24 horas e pesada em balança analítica, descontando-se a massa do béquer (KLEIN, 2014).

Argila dispersa e Índice de Floculação: a argila dispersa é parte da argila obtida pela análise granulométrica, devido apenas à agitação mecânica e uso de água destilada como dispersante. Agitou-se a suspensão efetuando a pipetagem de 25 ml em béquer e deixando em estufa a 105 °C por 24 horas. Posteriormente, se realizou a pesagem, diminuindo desse valor a massa do béquer (EMBRAPA, 2107).

O índice de floculação (IF) foi calculado pela equação (1) (EMBRAPA, 2017).

$$IF = \frac{(a - b)}{a} * 100 \quad (1)$$

Onde,

IF: Índice de floculação (%);

a: concentração de argila, em g kg⁻¹;

b: concentração de argila dispersa em água, em g kg⁻¹.

Retenção de água no solo: Se coletou amostras de solo com estrutura preservada, pelo utilizando cilindros metálicos chamados Anéis de Kopeck. Esses cilindros continham aproximadamente 100 cm³, com relação de altura 1:1. Após a coleta de solo com estrutura preservada em cilindros, os mesmos foram submetidos às tensões de 0,1; 0,6; 1, 10 e 30 kPa e calculada a umidade volumétrica em casa cilindro. A retenção de água foi determinada pelo ajuste logarítmico da curva de comportamento nessas umidades (equação de VAN GENUCHTEN (1980), plotando a umidade volumétrica no eixo das Ordenadas e o potencial mátrico no eixo das Abscissas (KLEIN, 2014). Calculou-se a umidade do solo à base de massa (gravimétrica) e à base do volume (volumétrica) na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente. A umidade gravimétrica pode ser representada pela relação da quantidade de água contida no solo ou substrato em relação à sua massa de sólidos secos. Para determinação da Umidade gravimétrica na capacidade de campo (UgCC, g/g), foi quantificada a massa da amostra de solo indeformada após ser submetida a tensão de 0,6 kPa e após seca em estufa a 105 °C.

Para determinação da Umidade gravimétrica na condição de ponto de murcha permanente (UgPMP, g/g) utilizou-se o modelo proposto por KLEIN et al. (2010), baseado no teor de argila de cada amostra, representado pela equação (2).

$$UgPMP (g/g) = (0,0003 * \text{Teor de argila, g/kg}) + 0,0118 \quad (2)$$

Resistência mecânica do solo à penetração: posteriormente à tensão de 300 kPa e determinação da umidade de cada amostra, estas foram submetidas à um penetrômetro eletrônico equipado com uma célula de carga de 200 N, haste com cone de 4 mm de diâmetro de base e semiângulo de 30°. O equipamento possui receptor e interface acoplado a um microcomputador para coleta dos dados através de um software próprio do equipamento (Anexo I) (Adaptado de KLEIN, 1998).

Densidade do solo e Densidade dos sólidos do solo: as amostras utilizadas para determinação da resistência mecânica do solo à penetração foram levadas à estufa a 105 °C por período de 24 horas para obtenção da massa de solo seco. Através da relação com o volume do anel, foi calculada a densidade desse solo (EMBRAPA, 2017). Para a determinação da densidade dos sólidos do solo foi separada uma amostra de 20g de solo seco em estufa a 105 °C por 24 horas. Essa quantidade de solo foi retirada da amostra de estrutura deformada. As 20g de solo foram colocadas em balão volumétrico de 100 ml. Acrescentou-se aproximadamente 25 mL de álcool etílico (96%) no balão até cobrir todo o material. Quando cessada a liberação de bolhas de ar do líquido, o balão permaneceu fechado por 24 horas. Após este período completou-se o volume do balão com álcool.

Densidade relativa do solo: KLEIN (2006) expôs o conceito de densidade relativa do solo, através da equação (3).

$$\text{Densidade relativa} = \frac{\text{Densidade do solo}}{\text{Densidade máxima do solo}} \quad (3)$$

A densidade máxima foi calculada através de um modelo matemático desenvolvido por meio do Ensaio de Proctor, realizado por MARCOLIN & KLEIN (2011). Nesse modelo matemático, a densidade máxima de um solo varia de acordo com o teor de argila do mesmo e é representado pela equação (4).

$$\text{Densidade máxima} = -0,0092 * \text{Teor de Argila (\%)} + 2,0138 \quad (4)$$

Porosidade Total, porosidade de aeração e distribuição do diâmetro de poros no solo: A distribuição dos poros no solo foi realizada em macro, micro e criptoporos, classificação proposta por KLEIN & LIBARDI (2002). Os macroporos são poros onde a água é retirada com uma tensão de 6kPa, considerado também como condição de capacidade de campo do solo. Os microporos são poros que apresentam diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm e são esvaziados com uma tensão de 1500 kPa, considerado também

como condição de Ponto de Murcha Permanente do solo. Criptoporos são poros que apresentam diâmetro inferior a 0,0002 mm e que não se esvaziam mesmo após aplicação de sucção de 150 mca.

Intervalo Hídrico Ótimo (IHO): O IHO considera, além da capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, a resistência mecânica do solo à penetração e a porosidade de aeração do solo. O gráfico foi confeccionado com essas quatro linhas, representando a resistência à penetração e ponto de murcha permanente como limites inferiores, e a capacidade de campo e a porosidade de aeração como limites superiores.

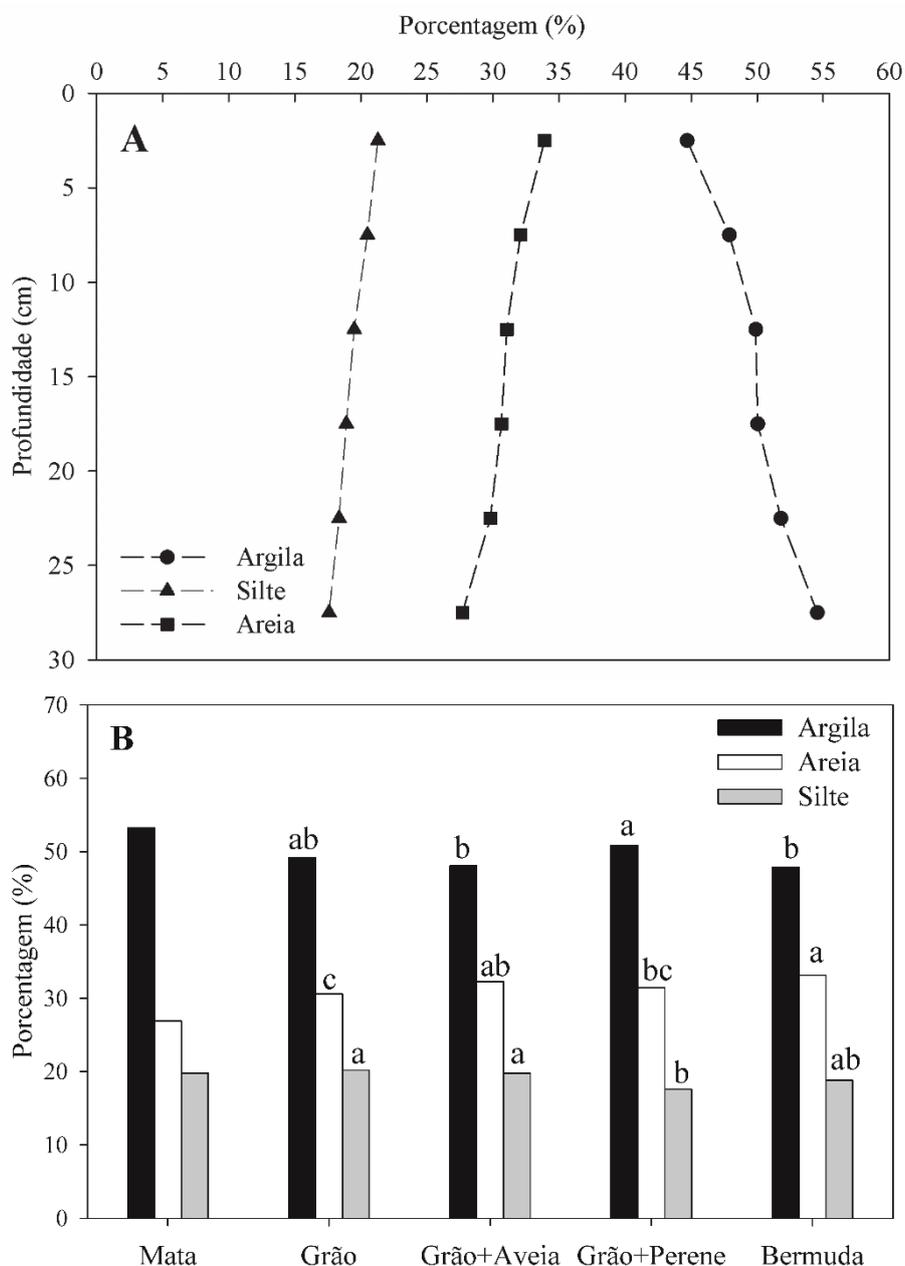
4.3.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância e, em caso de interação entre fatores, os efeitos simples foram analisados. Após verificação de significância ($p < 0,05$) se comparou as médias através de Tukey ($p < 0,05$). Os gráficos foram confeccionados com software SigmaPlot.

4.4 Resultados

Os teores de argila foram maiores que areia e argila. Foi bem visível a alteração dos teores de argila em profundidade. Em superfície se observou teores próximos a 45%, havendo aumento até 55 na camada de solo de 25-30cm. Os teores de areia diminuíram em profundidade, no entanto, em menor escala (Figura 8A). Algumas pequenas diferenças foram encontradas entre os sistemas de produção, sendo que os sistemas Grão+Aveia e bermuda acarretaram em maiores reduções nesse aspecto em relação aos demais sistemas de produção (Figura 8B).

Figura 8 - Textura granulométrica de um Latossolo Vermelho em profundidade (A) e cultivado sob diferentes sistemas de produção (B). Passo Fundo, 2019

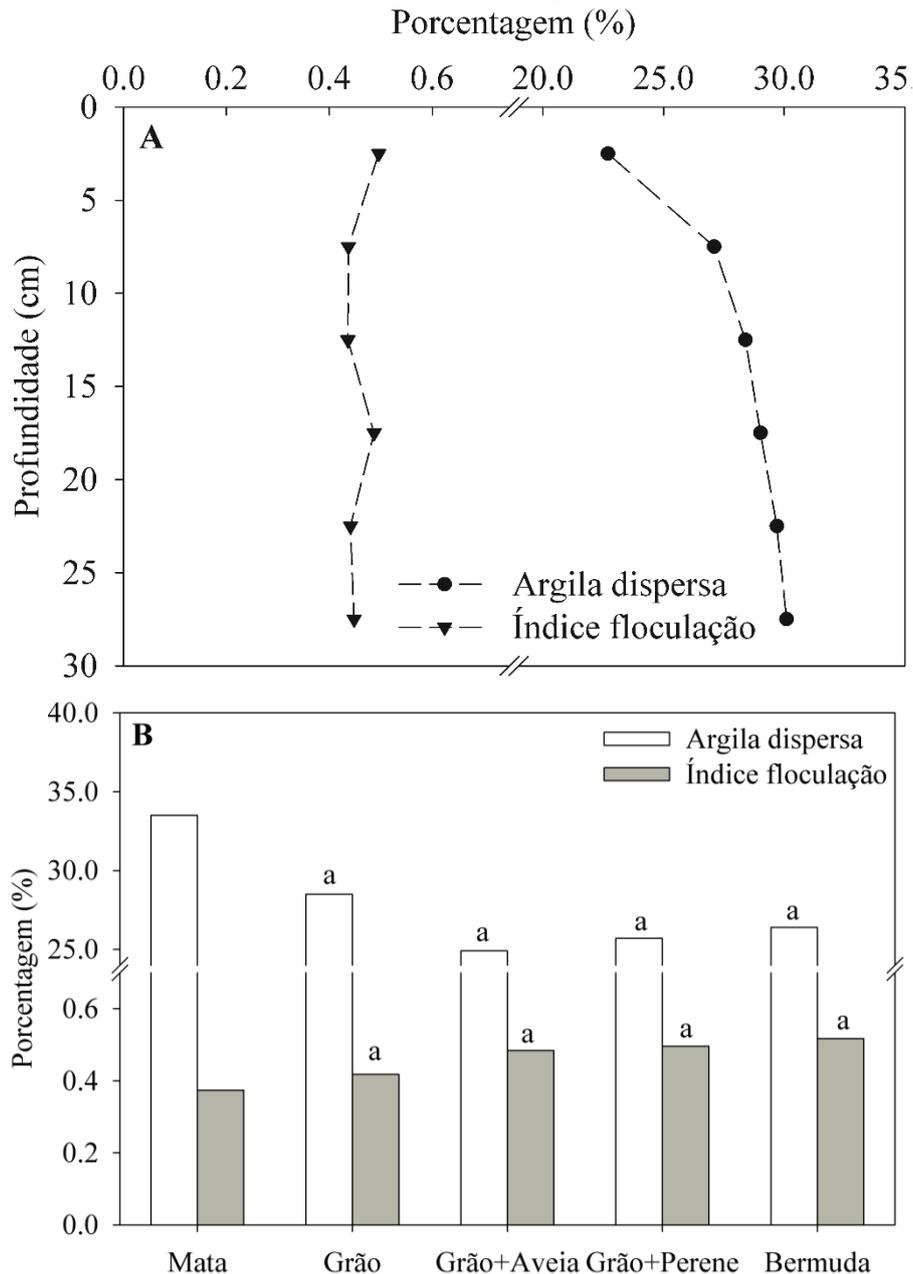


Letras iguais entre sistemas de produção não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

A argila dispersa diminuiu com o aumento da profundidade, no entanto, a maior redução foi encontrada na camada de solo 0 a 10 cm, reduzindo de 22,7% para 27,1%. Abaixo dessa camada, a redução foi de 27,1% para 30,1% na camada de 25 a 30 cm. Quanto maior a argila dispersa, menor é o índice de flocculação, devido à sua dependência.

Dessa forma, houve redução do índice de floculação entre as camadas de solo 0 a 5 cm e 5 a 10 cm, reduzindo de 0,49% para 0,43% (Figura 30A). Na mata houve mais argila dispersa e, conseqüentemente, menor índice de floculação. Dentre os sistemas de produção não houve diferença estatística entre argila dispersa (Figura 9B).

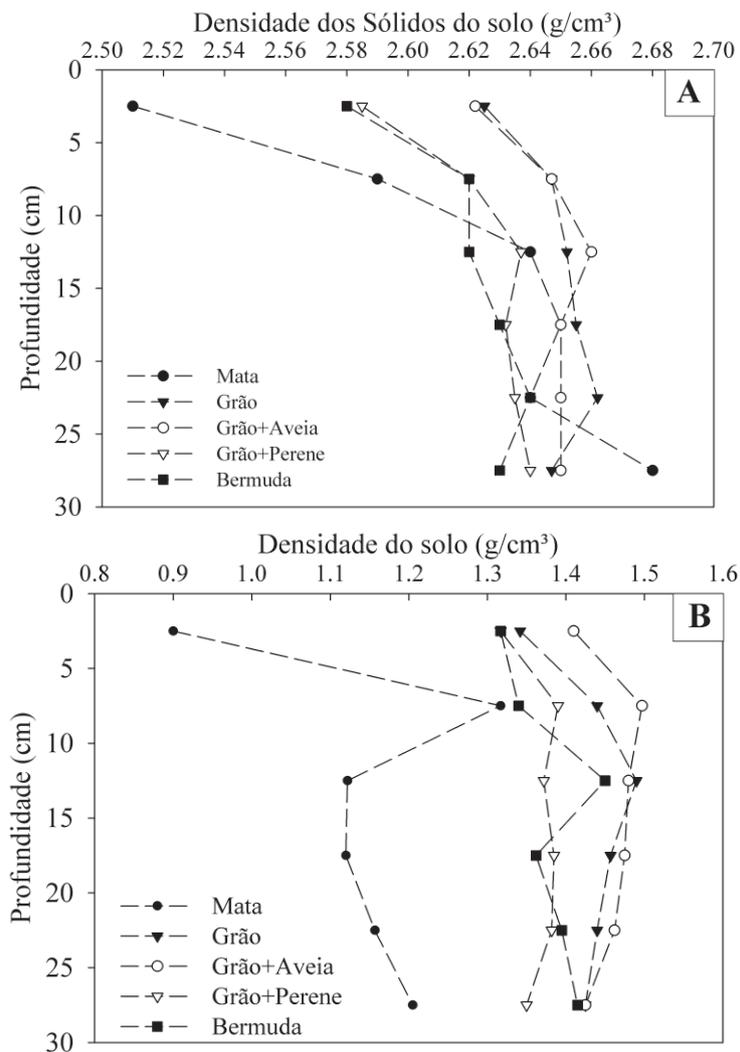
Figura 9 - Argila dispersa e Índice de floculação de um Latossolo Vermelho em profundidade e cultivado sob diferentes sistemas de produção. Passo Fundo, 2019



Letras iguais entre sistemas de produção não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

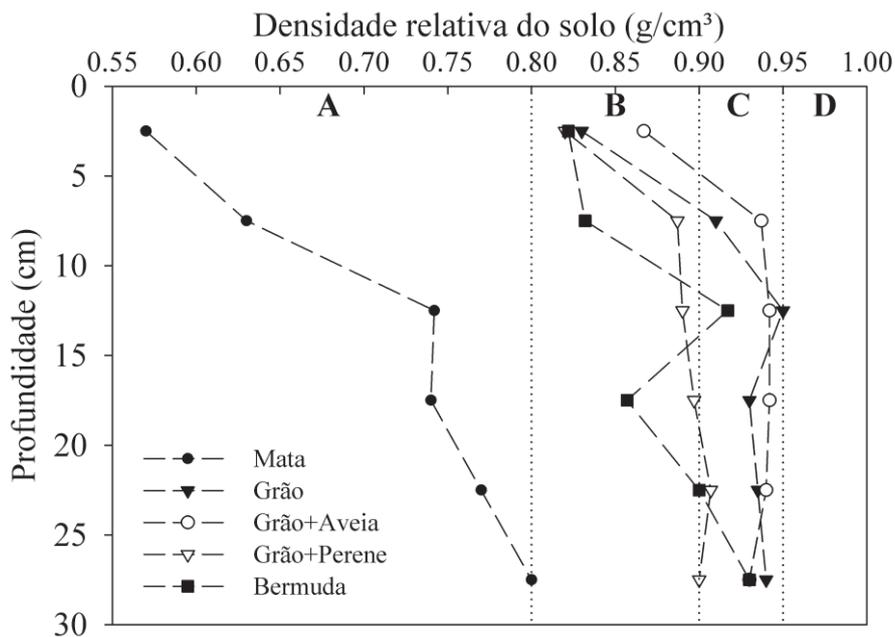
A densidade de sólidos do solo da mata foi menor que nos sistemas de produção na camada de solo de 0 a 10 cm. Nessa camada, os sistemas de grão+perene e grama bermuda possibilitaram reduzir a densidade de sólidos do solo em relação aos demais sistemas baseados em produção de grãos (Figura 10A). A densidade do solo foi menor na mata em relação aos sistemas de produção. No entanto, houve menor densidade nos sistemas grãos+perene e grama bermuda. Isso permite afirmar que a grama bermuda possibilita reduzir a densidade do solo (Figura 10B).

Figura 10 - Densidade dos sólidos (A) e densidade (B) de um Latossolo Vermelho em profundidade e cultivado sob diferentes sistemas de produção. Passo Fundo, 2019



A densidade relativa, seguramente, indica o grau de compactação do solo. Houve maior densidade relativa nas camadas de solo abaixo de 5 cm nos sistemas de produção baseados em grãos. Se percebeu uma menor densidade relativa no solo da mata. De acordo com a classificação de Marcolin (2009), o solo da mata enquadrou-se como solo solto. Os sistemas grão+perene e grama bermuda apresentaram suas densidades relativas quase basicamente dentro da faixa B, considerado um solo não compactado, apesar de ser verificada uma camada compactada na camada de solo de 10 a 15 cm. Os demais sistemas de produção, com exceção da camada de solo de 0 a 5 cm, podem ser caracterizados como solos compactados (Figura 11).

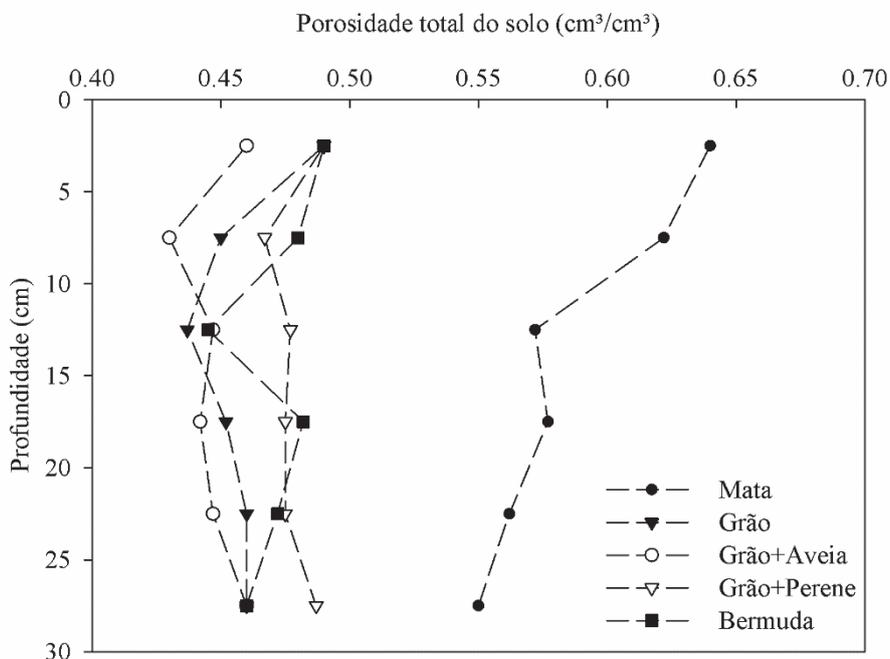
Figura 11 - Densidade relativa de um Latossolo Vermelho em profundidade e cultivado sob diferentes sistemas de produção. Nível de compactação baseada na densidade relativa do solo, de acordo com classificação de Marcolin (2009), sendo solo solto (A), não compactado (B), compactado (C) e muito compactado (D). Passo Fundo, 2019



Praticamente representando o comportamento contrário da densidade relativa do solo, a porosidade total do solo foi maior no solo de mata, enquanto os sistemas de grão+aveia e grama bermuda apresentaram porosidades totais superiores (entre 0,45 e 0,5 cm^3/cm^3), em profundidades abaixo de 5 cm, em relação aos demais sistemas de produção. Ressalta-se que a indicação de uma camada compactada na grama bermuda,

também foi observada na porosidade total, havendo menor porosidade nessa camada de 10 a 15 cm (Figura 12).

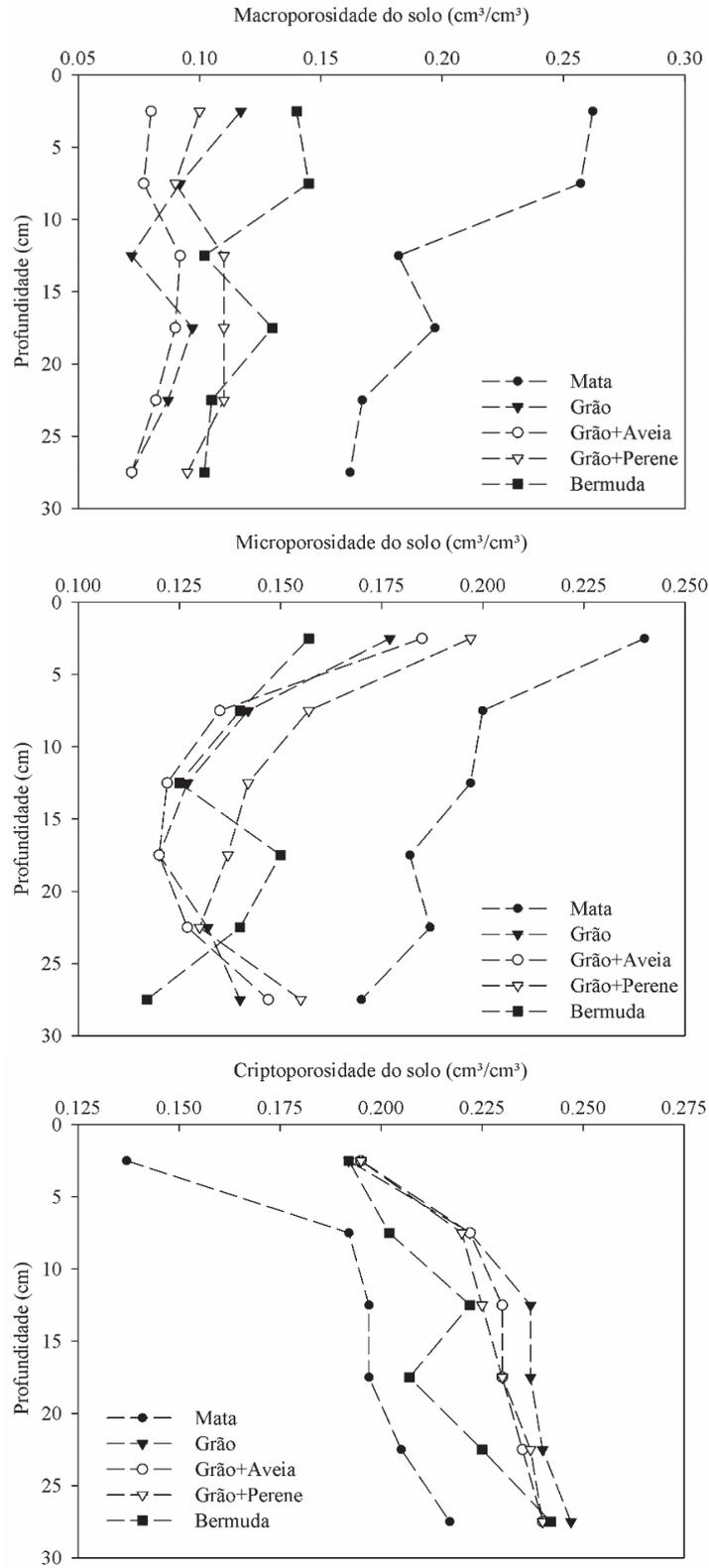
Figura 12 - Porosidade total de um Latossolo Vermelho em profundidade e cultivado sob diferentes sistemas de produção. Passo Fundo, 2019



Em resposta a porosidade total, a distribuição de poros apresentou influência do cultivo de sistemas de produção. Na mata houve maior macro, micro e cripto porosidade. A grama bermuda possibilitou maior macroporosidade, de 0 a 10 cm, e menor criptoporosidade, abaixo de 5 cm, que os demais sistemas de produção. Isso indica maior capacidade de aeração em superfície e menor água retida em criptoporos, em camadas mais profundas (Figura 13).

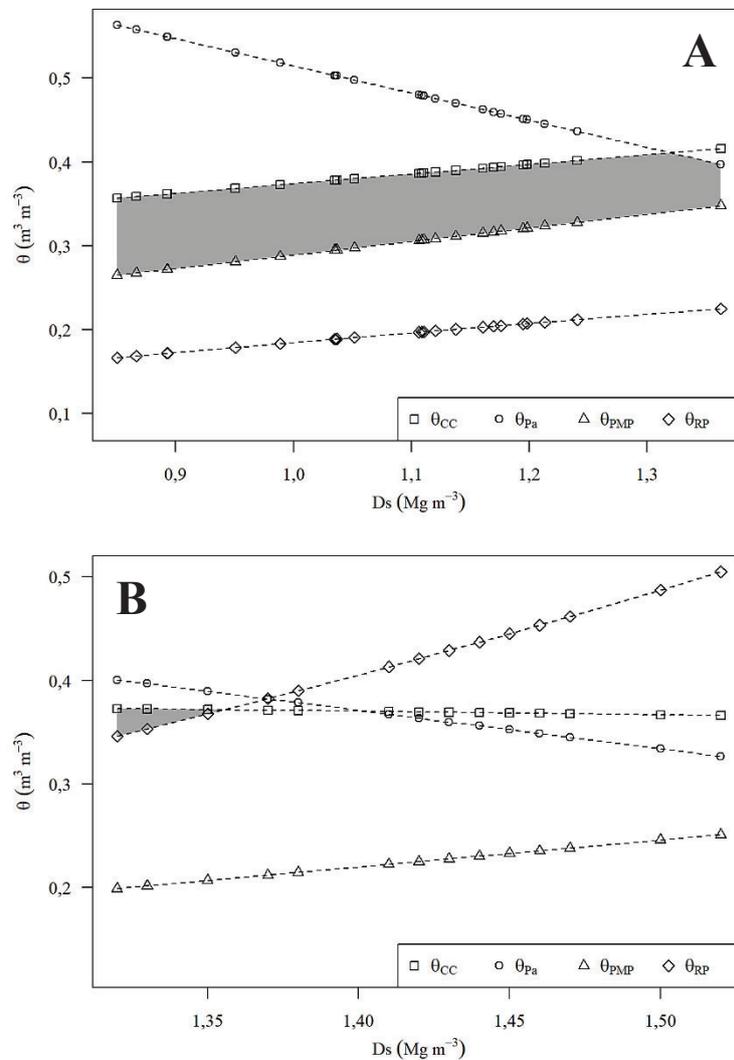
Ressalta-se o sistema de grão, que apresentou maior macroporosidade na camada de solo de 0 a 10 cm, enquanto, abaixo dessa camada, reduziu drasticamente esses valores. A criptoporosidade desse sistema se localizou entre as maiores de todos os solos avaliados, demonstrando que mantém mais água retida nos criptoporos em profundidades maiores (Figura 13).

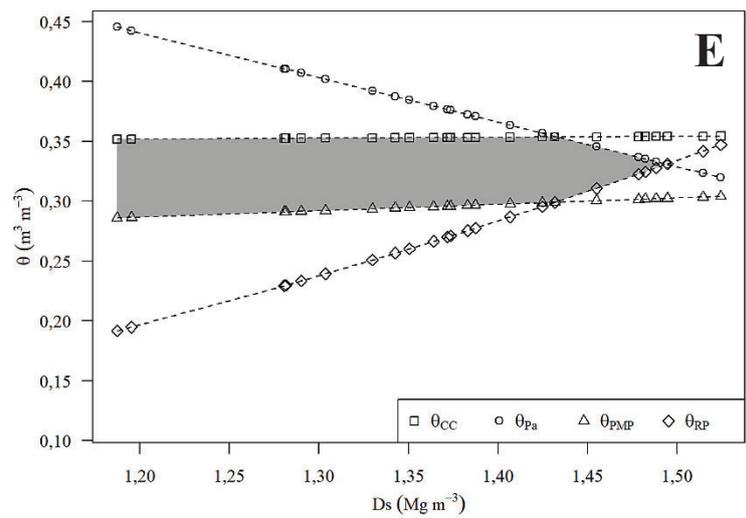
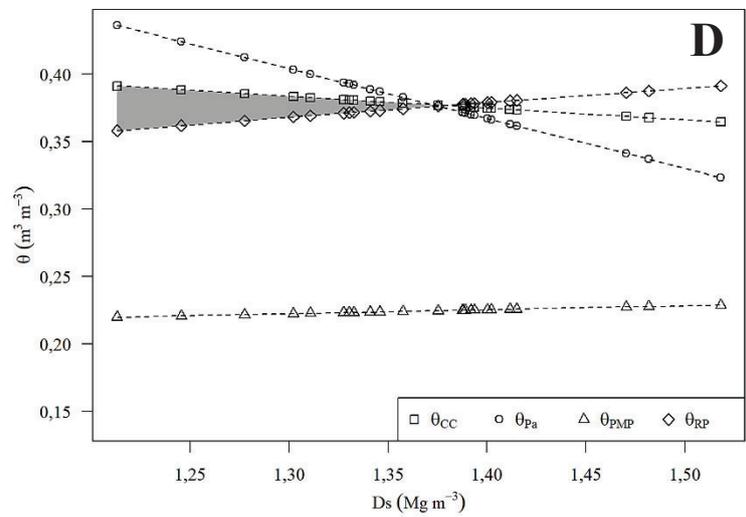
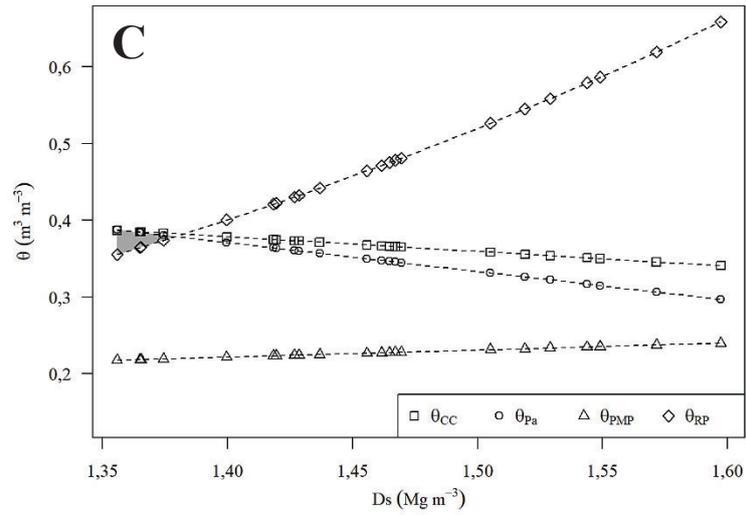
Figura 13 - Macro, micro e criptoporosidade de um Latossolo Vermelho em profundidade e cultivado sob diferentes sistemas de produção. Passo Fundo, 2019



Com a interpretação do intervalo ótimo (IHO), permite-se observar que maiores intervalos são constatados no solo com grama bermuda (Figura 14E) em relação aos demais sistemas de produção. Pode ser considerado o sistema mais semelhante ao solo da mata (Figura 14A). O sistema grão+perene (Figura 14D), que representa a produção de grão após o cultivo da grama bermuda demonstra reduzir o IHO em relação a grama bermuda solteira, no entanto, é superior aos demais sistemas de produção (Figura 14B, 14C).

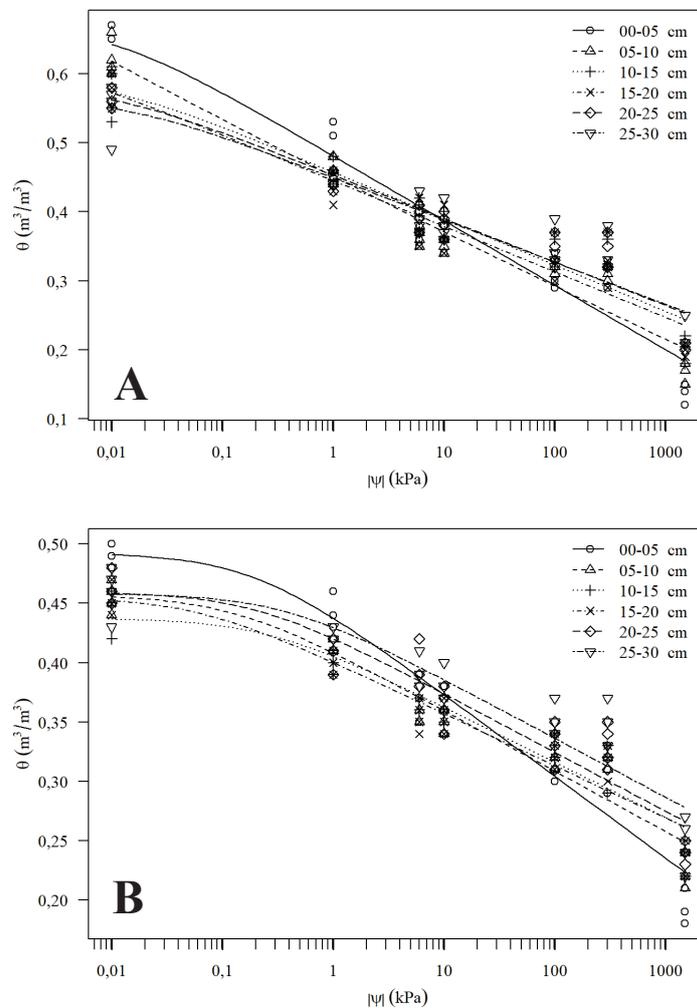
Figura 14 - Intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de produção. Mata (A), grãos (B), grãos/aveia + ervilhaca (C), grãos/perene (D) e grama bermuda/sobressemeadura (E). θ_{CC} : teta na capacidade de campo; θ_{Pa} : teta na porosidade de aeração; θ_{PMP} : teta no ponto de murcha permanente; θ_{RP} : teta na resistência de penetração. Passo Fundo, 2019

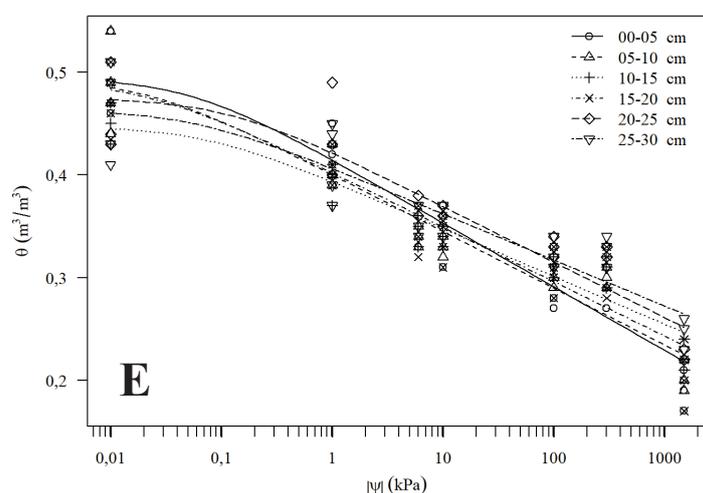
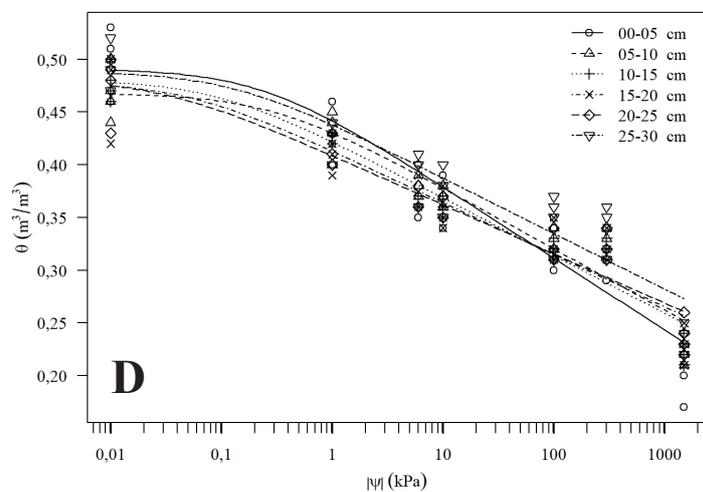
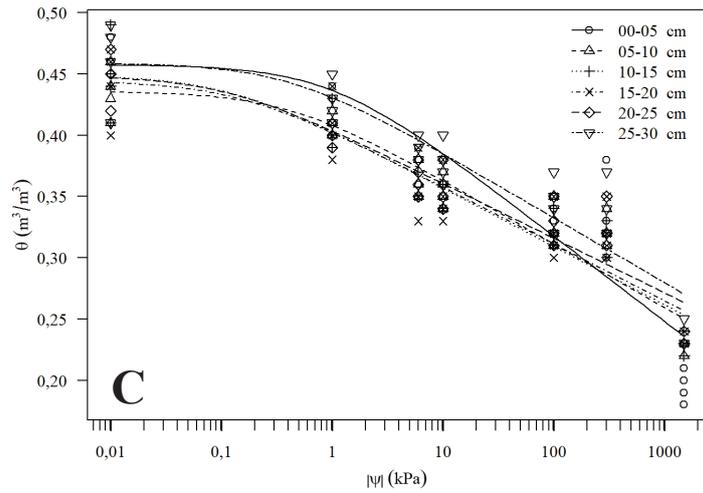




Maior volume de água é retido em solos de mata em relação aos solos sob sistemas de produção, levando em consideração tensões de 0,01 kPa. Entre os sistemas de produção não se verificou diferenças. Em camadas de solo mais superficiais houve maior volume de água retido a baixas tensões, provavelmente em microporos, enquanto, sob profundidades maiores se observou maior volume de água retido a maiores tensões, provavelmente criptoporos. Em maiores profundidades do solo houve maior volume de água retida sob tensão de 1000 kPa, enquanto em profundidades menores houve maior volume água retida a tensões de 0,01 a 0,1 kPa (Figura 15).

Figura 15 - Curvas de retenção de água em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de produção. Mata (A), grãos (B), grãos+aveia (C), grãos+perene (D) e grama bermuda (E). Passo Fundo, 2019





A inserção da grama bermuda em sistemas de produção possibilita a redução da densidade relativa do solo, aumenta a macroporosidade e reduz a criptoporosidade. Essa

condição aumenta a aeração do solo e diminuem o volume de água indisponível às plantas em criptoporos.

4.5 Discussão

Não houve efeito do sistema de produção sobre a argila dispersa e o índice de floculação. No entanto, se observou que o solo da mata obteve os maiores valores de argila dispersa. Esse fato não foi esperado, já que se pressupões um maior nível de agregação dos colóides nesse tipo de solo, devido a maior teor de matéria orgânica nesse solo (GOMES et al., 1994). Solos com maior teor de argila e que não possuem cobertura de solo constante, apresentam maior taxa de expansão e contração devido ao umedecimento e secagem da argila, acarretando em menor agregação de colóides, gerando maior potencial de serem arrastados pelo escoamento de água (ROSA JÚNIOR, et al. (2006). Os dados de análise granulométrica mostram maior teor de argila no solo de mata, no entanto, não se caracteriza um ambiente sem cobertura vegetal, o que demonstra que haja outro fator de influência não abordado nesse estudo. Outros fatores podem afetar a estabilidade dos agregados, como teor de óxidos de ferro e alumínio (BERTOL et al., 2006). Os teores de alumínio do solo da mata foram maiores, o que pode estar relacionado ao aumento da argila dispersa nesse ambiente.

O sistema com grama bermuda permitiu a redução nos valores de densidade de sólidos, densidade e densidade relativa do solo, aumentando a porosidade total, principalmente na camada de 0 a 10 cm. Esse aumento da porosidade total foi basicamente dependente do aumento da macroporosidade, o que pode facilitar a infiltração de água nesse perfil de solo. A redução na macroporosidade e da densidade do solo podem acarretar em problemas no crescimento radicular de plantas, causando redução na capacidade de absorção de água e nutrientes através da redução do volume de solo explorado por essas raízes (LANZANOVA et al. 2007). Dessa forma, pode-se afirmar que a grama bermuda favoreceu a absorção de água e nutrientes pelas plantas, exercendo importante função na rotação de culturas.

Essa condição descrita, resultou num maior intervalo hídrico ótimo ao desenvolvimento das plantas. Em relação aos demais sistemas de produção, a grama

bermuda apresentou os maiores resultados. Outro ponto a se ressaltar, é o sistema grão+perene, caracterizado por suceder o cultivo da grama bermuda. O sistema grão+perene obteve intervalo hídrico ótimo maior em relação aos sistemas de produção baseado apenas em grãos. No entanto, o tratamento grão+perene reduziu esse intervalo hídrico ótimo em relação a grama bermuda, permitindo afirmar que a produção de grãos pode reduzir a qualidade física de solo construída pela grama bermuda.

As pastagens possuem efeito de agregação sobre as partículas de solo, devido principalmente à atividade de suas raízes (LIU, MA, BOMKE, 2005). Com o aporte de carbono no solo através das raízes há a estruturação do solo em macroagregados, ligados através de agentes cimentantes produzidos pela atividade microbiana e exsudatos vegetais. Esses macroagregados são responsáveis pela criação de macroporos. Contudo, atividades agrícolas relacionadas ao revolvimento contínuo do solo, podem desagregar facilmente essas estruturas. SILVA et al. (1998) realizaram estudo com macroagregados de solo sob preparo convencional e perceberam que o cultivo de milho após *Urochloa decumbens* obteve maior estabilidade de agregados. PANACHUKI et al. (2006) estudaram um Latossolo Vermelho e observaram maior macroporosidade na camada de solo de 5 a 20 cm cultivado com pastagem. SPERA et al. (2004b) observaram maior macroporosidade em solo de mata quando comparado aos solos de diferentes rotações de culturas, incluindo um programa de rotação com pastagem perene de inverno e outro com pastagem perene de verão. SPERA et al. (2006) observaram em estudos de diferentes rotações de culturas envolvendo pastagens que a macroporosidade nas camadas de 0 a 5 cm foram superiores às encontradas na camada de 10 a 15 cm. Todos esses resultados vão ao encontro dos resultados obtidos pelo presente estudo.

A retenção de água é importante avaliação para compreender a estruturação do solo (MARCHÃO et al., 2007). A retenção de água foi maior no solo da mata em relação à área cultivada com os diferentes sistemas de produção na camada de 0 a 5 cm. OLIVEIRA et al. (2004) observaram que o cultivo de solo ocasionou redução da retenção de água em relação a um solo de área natural. MARCHÃO et al. (2007) encontraram maior retenção de água, na camada de 0 a 5 cm, em solo natural quando comparado aos demais sistemas de produção avaliados. A causa disso é a redução dos tamanhos dos poros

(principalmente macroporosidade) e da matéria orgânica. Essas mudanças podem afetar diretamente a infiltração de água, reduzindo-a (ALVES et al., 2007).

A curva de retenção de água no solo não foi capaz de detectar diferenças entre os sistemas de produção. FERREIRA et al. (2010) afirma que muitas vezes, o uso da curva de retenção de água, pode não levar a conclusão sobre o efeito de manejo, e DEXTER (2004) e MARCHÃO et al. (2007) afirmam ainda, que essa variável pode ser utilizada como forma de explicar diferenças entre sistemas de manejo que apresentam mudanças mais drásticas na distribuição da porosidade e até entre tipos de solos.

4.6 Conclusões

Não há efeito de sistemas de produção sobre a quantidade de argila dispersa e o índice de floculação.

A inserção da grama bermuda em sistemas integrados de produção agropecuária permite reduzir a densidade de sólidos, a densidade e a densidade relativa do solo. E por consequência, aumenta a porosidade total, representada principalmente pelo aumento da macroporosidade na camada de 0 a 10 cm.

A grama bermuda possibilita criar uma condição propícia para o aumento do intervalo hídrico ótimo de um solo, no entanto, essa condição pode ser restituída quando se cultiva, posteriormente, sistemas de produção baseados em grãos.

5 CAPÍTULO III - RELAÇÕES HÍDRICAS NO SISTEMA SOLO-PLANTA E RESPOSTA DE SOJA E MILHO INSERIDOS EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

5.1 Resumo

A implantação de sistemas integrados de produção agropecuária pode incrementar a qualidade física do solo. Aliado a esse processo de estruturação de solo, a longo prazo, pode favorecer o armazenamento de água. O objetivo do trabalho foi avaliar se a consorciações forrageiras multiespecíficas em rotação com culturas de grãos, afeta o comportamento hídrico no sistema solo-planta em sistemas integrados de produção agropecuária. Foram testados três sistemas de produção, sendo: produção de grãos; grãos com cobertura de inverno; e grãos com inserção de grama bermuda/sobressemeadura de anuais de inverno. Foi avaliado o comportamento hídrico do sistema solo-planta em cada sistema de produção. A transmissividade de radiação solar, a temperatura de folha e o potencial hídrico foliar, em milho e soja, não são afetados pela inserção da grama bermuda e Aveia-preta em sistemas integrados de produção agropecuária. A perda de umidade na camada de solo de 0 a 20 é maior em sistemas de produção onde há inserção da grama bermuda em comparação a sistemas de produção baseados em grãos, no entanto, deve-se avaliar em camadas mais profundas para haver uma conclusão em relação ao sistema solo-planta como um todo. A inserção de espécies forrageiras, como aveia-preta e grama bermuda, em sistemas integrados de produção agropecuária, não afeta a altura de planta e a produção de grãos da cultura de soja e milho.

Palavras-chave: 1. Água no solo. 2. Potencial hídrico. 3. Temperatura de folha. 4. Agrometeorologia. 5. Armazenamento de água no solo.

5.2 Introdução

A implementação de sistemas integrados de produção, envolvendo multiespecificidade vegetal e também animal, é para muitos produtores a chave do sucesso para a melhoria da qualidade de produção de sua unidade agrícola. Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) ou a integração lavoura pecuária (ILP) são conceitos difundidos no Brasil e enquadram-se em sistemas de produção que envolvem a multiespecificidade vegetal e a rotação de culturas.

Para implementar uma rotação de culturas em que haja espécies forrageiras perenes, há uma limitação crucial por parte dos produtores rurais: a adequação da

propriedade rural para elaborar um plano que atenda os princípios básicos do sistema ILP e que gere maior rentabilidade ao produtor. A dificuldade é a adequação do ciclo longo de forrageiras à rotação de culturas, implicando na redução da área destinada a grãos. No entanto, salienta-se que o uso da maior diversidade de produção, com a presença de maior número de espécies reduz o risco de quebra de safra, incrementa a produção de alimentos em um ambiente que demanda altas quantidades de energia e reduz impactos ao ambiente de produção.

O uso de cobertura vegetal durante o período ocioso de produção de grãos não somente acarreta na proteção do solo em si. Indiretamente, a palhada residual forma uma barreira física contra a perda de água do solo por evaporação. Aliado a esse processo, a estruturação do solo, a longo prazo, pode favorecer o armazenamento de água. Dessa forma, sistemas de produção agrícola que apresentem maior aporte de resíduos orgânicos no solo, como sistemas de integração lavoura-pecuária, podem aumentar as reservas hídricas do solo e permitir que culturas sucessoras suportem maior período sem necessidade de irrigação ou aporte de água pela chuva (períodos secos ou estiagens).

Para a compreensão dos princípios da rotação de culturas com distintas características vegetais, paralelo à implementação de um sistema integrado de produção é de extrema importância conhecer os fatores que interferem nas relações solo-planta. Especificamente o comportamento hídrico vegetal depende das condições físicas do solo e da demanda hídrica atmosférica, e a compreensão desses fatores permite traçar estratégias de manejo para obtenção de um sítio de produção com baixa degradação de recursos e a redução da complementação com insumos externos. A água é importante para a produção agrícola e muito estudada em trabalhos científicos. Assim, seu uso mais eficiente em sistemas de produção é desejado. No entanto, a compreensão da dinâmica hídrica em sistemas de produção pode ser bastante complexa, principalmente quando estão envolvidas relações solo-planta e ambiente.

A aferição do potencial hídrico é utilizada para a compreensão dos mecanismos que envolvem os processos afetados no controle do déficit hídrico pela planta. Assim, quando o conteúdo de água no solo decresce, o potencial da água na planta também decresce. Por conseguinte, o déficit hídrico é verificado nas folhas e células guarda, que perdem turgor e causam o fechamento estomático (GUBIANI, 2008).

Sistemas integrados de produção viabilizam a proteção do solo de erosões, pois mantêm a presença de plantas durante todo ano agrícola; e afeta positivamente atributos do solo, favorecendo a manutenção da umidade do solo e aumentando a produção de grãos. Um ambiente de produção com tais características contribui para a maior eficiência produtiva da planta.

Assim, objetivo do trabalho foi avaliar se a consorciações forrageiras multiespecíficas em rotação com culturas de grãos, afetam as relações hídricas no sistema solo-planta em sistemas integrados de produção agropecuária.

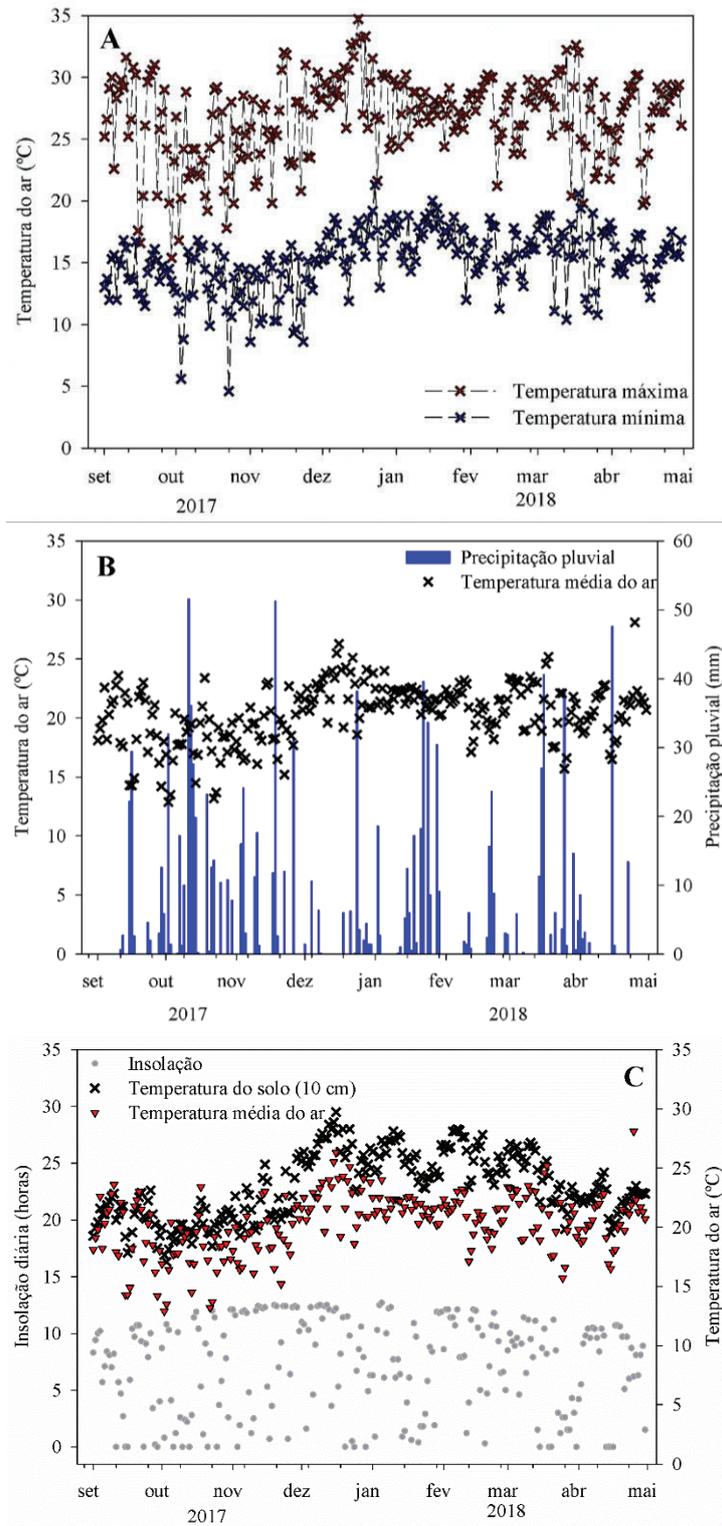
5.3 Material e Métodos

5.3.1 Descrição da área experimental

Sistemas de produção multiespecíficos foram implantados no ano de 1993 no município de Passo Fundo - RS, em Latossolo vermelho distrófico típico (STRECK et al., 2008), de textura argilosa e relevo suave ondulado e sob sistema de semeadura direta. O clima é classificado como Cfa de acordo com a Köppen e Geiger. Em Passo Fundo a temperatura média é 17,9 °C e 1746 mm é o valor da pluviosidade média anual.

A temperatura máxima e mínima do ar no período de setembro de 2017 a maio de 2018 foram, em média, 26,7 °C e 15,2 °C, respectivamente (Figura 16A). A temperatura média do ar observada foi de 20,4 °C e a precipitação pluvial acumulada foi de 1130 mm, bem distribuída no período (Figura 16B). A média de insolação foi de 7,2 horas e a temperatura do solo a 10 cm de profundidade de 23,2 °C. De dezembro de 2017 a abril de 2018, a temperatura do solo foi maior que a temperatura média do ar, indicando maior aquecimento do solo nesse período (Figura 16C).

Figura 16 - Condições meteorológicas do estudo. Informações coletadas na estação meteorológica automática de Passo Fundo-RS (Embrapa Trigo). Temperatura do ar máxima e mínima (A), temperatura média do ar, precipitação pluvial (B), insolação, e temperatura média do solo a 10 cm de profundidade (C). Passo Fundo, 2019



5.3.2 Delineamento experimental

O experimento foi composto por três sistemas de produção (Tabela 3) mais área de mata e área com pastagem perene (grama bermuda solteira). A condução do experimento foi sob delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. A condução do experimento foi sob delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. A área de cada parcela foi de 400 m² (20 m x 20 m) (Apêndice I).

Tabela 3 - Disposição do fator sistema de produção. Passo Fundo, 2018

Ano	SISTEMA I	SISTEMA II	SISTEMA III
2014	Ano 1 (inverno/verão) Trigo/soja	Ano 1 (inverno/verão) Trigo/soja	Ano 1, 2 e 3 (inverno/verão) Aveia-preta + azevém + trevo branco + trevo vermelho + cornichão/Tifton 85
2015	Ano 2 (inverno/verão) Ervilhaca/milho	Ano 2 (inverno/verão) Pastagem de Aveia-preta + ervilhaca/soja	
2016	Ano 3 (inverno/verão) Aveia-branca/soja	Ano 3 (inverno/verão) Aveia-branca/soja	
2017			Ano 4 (inverno/verão) Trigo/soja
2018			Ano 5 (inverno/verão) Ervilhaca/milho
2019			Ano 6 (inverno/verão) Aveia-branca/soja

Cada cultura foi alocada em subparcela, de modo que todas culturas fossem conduzidas todos os anos agrícolas. Para facilitar a comparação e o efeito da inserção da grama bermuda com sobressemeadura de inverno no sistema de produção III, esses dados foram analisados separadamente da parte de produção de grãos. Ainda, amostras de uma área de mata, próxima ao experimento, foram avaliadas. SISTEMA I: Sistema “grãos”; SISTEMA II: Sistema “grão+aveia-Preta; Sistema III: nesse sistema estão contidos os sistemas, “grão+perene”, sendo o ano 4, 5 e 6, e o sistema “bermuda”, sendo os anos 1,2 e 3.

As rotações foram alocadas nas parcelas de modo que todas as sucessões inverno/verão fossem estudadas em todos os anos, desde a implantação do experimento. A cada ano, as sucessões eram rotacionadas em subparcelas. Ressalta-se que para o “Sistema III”, em subparcela de 200 m² (10m x 20 m), foi implantado no verão, a grama bermuda tifton 85 (*Cynodon* spp.) (híbrido F1 entre tifton 68 x P1290884), espécie perene

que permaneceu por três anos na mesma subparcela. Em cada inverno, nesses três anos, foi realizada sobressemeadura de espécies anuais de inverno (Tabela 2). Enquanto na outra subparcela de 200 m² se conduziu os anos 1, 2 e 3. Após esse o período de três anos, a área de grama bermuda/sobressemeadura foi dessecada e subdividida em subparcelas, sendo implantadas as sucessões de produção de grãos (Anos 1, 2, e 3). Nas subparcelas de produção de grãos foi implantada a grama bermuda/sobressemeadura.

Em cada inverno, nesses três anos, foi realizada sobressemeadura de espécies anuais de inverno. Enquanto na outra subparcela de 200 m², se conduziu o sistema I. Após esse o período de três anos, a área de grama bermuda foi dessecada e subdividida em subparcelas, seguindo as sucessões de produção de grãos. Nas subparcelas de produção de grãos foi implantada a grama Bermuda.

Cada sistema de produção foi escolhido baseando-se principalmente no uso por produtores do estado do Rio Grande do Sul. O sistema I é largamente usado por produtores que tem estritamente o objetivo de produzir grãos. O sistema II é usado por produtores que geralmente optam ou desejam maior acúmulo de matéria seca no sistema através de cobertura de inverno e/ou uso como pastagem (adição de aveia preta + ervilhaca). O sistema III é usado por produtores que largamente exercem a atividade pecuária, seja leiteira ou de corte, inserindo uma diversidade grande de espécies forrageiras. Análises foram realizadas na área de mata para efeito de comparação com o solo original, ou seja, antes da implantação de cultivos agrícolas.

5.3.3 Procedimentos culturais

Na implantação do experimento, o pH do solo foi corrigido a 5,5 até 20 centímetros de profundidade e os teores de nutrientes corrigidos ao Teor Médio, como indicado no Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC, do ano corrente, editado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo, sendo o mais atual editado em 2016 (CQFS RS/SC, 2016). A cada ano, realizou-se o manejo de adubação de manutenção para cada cultura, baseado no mesmo manual. O manejo de pragas e doenças foi realizado de acordo com a necessidade, com produtos registrados no Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento para a cultura específica.

5.3.4 Avaliações

As seguintes variáveis foram avaliadas nas culturas da soja e milho:

Umidade de solo: com auxílio de sensor de umidade (TDR) acoplados a um datalogger, com profundidade efetiva de avaliação de 0-20 cm de profundidade, foi determinada a umidade de solo. A avaliação foi realizada após uma chuva com o intuito de observar o processo de secagem de solo (perda de umidade). Foram utilizadas três subamostragens por parcela e, posteriormente, calculada a média para cada bloco (repetição).

Potencial hídrico na folha (MPa): para determinação indireta do potencial hídrico na folha, foi usada a câmara de pressão de Scholander. As avaliações foram pontuais em distintos horários do dia, das 9 às 17 horas. Foi utilizada uma folha por planta em cada cultura (milho e soja), em uma planta por bloco, em quatro blocos. Foram escolhidas folhas do terço superior da planta exposta ao sol. Anteriormente a cada avaliação destrutiva de potencial hídrico, foi medida a temperatura da folha com termômetro infravermelho.

Temperatura de folha (graus Celsius; °C): foi empregado um termômetro de infravermelho para aferir a temperatura de folha durante o dia. As avaliações foram pontuais em distintos horários do dia, das 9 às 17 horas, a cada uma hora. Foi utilizada uma folha em uma planta em cada cultura nos quatro blocos. Foram escolhidas folhas do terço superior da planta expostas ao sol.

Interceptação de radiação solar (%): algumas culturas apresentam a capacidade de reduzir a área foliar exposta diretamente a incidência da radiação solar através do enrolamento foliar, reduzindo assim a interceptação. Para inferir a ocorrência desse fenômeno, foi utilizado um ceptômetro com sensores para determinar a radiação solar fotossinteticamente ativa sobre e abaixo do dossel das culturas da soja e milho. Posteriormente, calculou-se a transmissividade à radiação solar, através da equação (1):

$$\text{Transmissividade (T, \%)} = \frac{\text{RFAi}}{\text{RFAe}} * 100 \quad (1)$$

Onde, RFAi é radiação fotossinteticamente ativa no interior do dossel ($\mu\text{mol s}^{-1}$); RFAe é radiação Fotossinteticamente Ativa no exterior do dossel.

Estatura de planta (cm): dez plantas em cada parcela foram aferidas com auxílio de uma haste milimetrada. A parte aferida foi da superfície do solo até o ápice do pendão (em milho) e até o ápice do folíolo central do último trifólio expandido (em soja).

Massa da matéria seca de planta (g): através de uma análise destrutiva, cinco plantas representativa de cada parcela foram escolhidas e separadas por tipo de estrutura e colocadas em estufa com entrada de ar forçado a 65 °C. Para a cultura do milho plantas foram separadas em folha, haste, espiga e pendão. Para a cultura da soja a separação foi em folha, haste e legumes. Calculou-se a média das cinco plantas para cada bloco.

Componentes de rendimento: na cultura do milho, foram avaliados o número de grãos por espiga, número de grãos por fileira e número de fileiras, massa de mil grãos e rendimento de grãos (kg de grãos/ha). Na cultura da soja, avaliou-se número de grãos e legumes por planta, massa de mil grãos e rendimento de grãos (kg de grãos/ha).

5.3.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância. Em caso de verificação de significatividade, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Dados de temperatura de folha e potencial hídrico de folha foram submetidos a análise de correlação de Pearson.

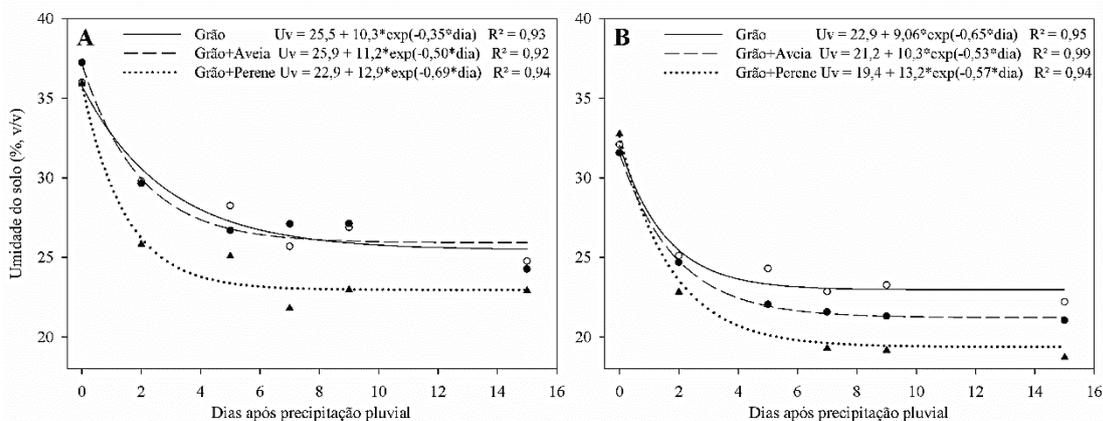
5.4 Resultados

A análise da variância não identificou efeito do sistema de produção sobre a temperatura de folha e o potencial hídrico da folha de milho e soja. A temperatura média da folha foi de 27,8 °C para milho e 29,4 °C para soja. Enquanto o potencial hídrico foi de -1,45 MPa para milho e -1,18 MPa para soja. A análise de correlação de Pearson mostrou que há uma correlação significativa de -0,24 entre o potencial hídrico e a temperatura de folha, para milho, considerada baixa, e indicando que há baixa relação entre essas variáveis. Para soja, essa correlação foi de 0,26, considerada baixa, indicando que há baixa relação entre essas variáveis na cultura da soja. A transmissividade da radiação solar também não foi afetada pelo sistema de produção. A média de

transmissividade de radiação solar, entre os sistemas de produção, foi de 2,8% para milho e 22,1% para soja.

A redução de umidade na camada de solo de 0 a 20 cm foi maior no sistema de produção com inserção da grama Bermuda, para a cultura da soja (Figura 17A) e do milho (Figura 17B), indicando maior evapotranspiração nesse sistema. Esse fato pode ser devido a maior evaporação, devido a maior macroporosidade encontrada com a presença da grama bermuda. Já após dois dias houve maiores perdas de umidade, na cultura do milho e soja, no sistema onde havia grama Bermuda. Isso mostra a maior capacidade de infiltração da água para camadas mais profundas nesse solo, já que no capítulo II desse estudo, foi visto que houve maior macroporosidade do solo nesse sistema, o que permitiu a água infiltrar a maiores profundidades. Para confirmar essa hipótese, serão necessárias novas avaliações de perda de umidade em camadas de solo abaixo de 20 cm. Raízes de plantas, principalmente gramíneas, podem atingir essa profundidade e alterar esses valores.

Figura 17 - Perda de umidade do solo após precipitação pluvial de um Latossolo Vermelho em milho (A) e soja (B) sob sistemas de produção. Passo Fundo, 2019



A altura e matéria seca de planta (Figura 18), número de grãos por espiga em milho e número de grãos por planta em soja (Figura 19), massa de mil grãos (Figura 20) e rendimento de grãos (Figura 21) não sofreram efeito de sistema de produção. Isso significa que a inserção da Aveia-preta e grama Bermuda em sistemas de produção não influencia negativamente na altura de planta e no rendimento de grãos das culturas de soja e milho. A grama Bermuda e a Aveia-preta pode ser inserida em sistemas de

produção agropecuária, sem haver alterações na produção final de grãos. Assim, produtores agrícolas podem utilizar essas espécies como alternativa de produção, aumentando dessa forma a biodiversidade da propriedade agrícola e a segurança de produção, já que diversifica as possibilidades de construção de renda.

Figura 18 - Altura de plantas de milho (A) e soja (B) e massa seca de plantas de milho (C) e soja (D). ns: não significativo a teste de Tukey a 5% de probabilidade erro. Passo Fundo, 2019

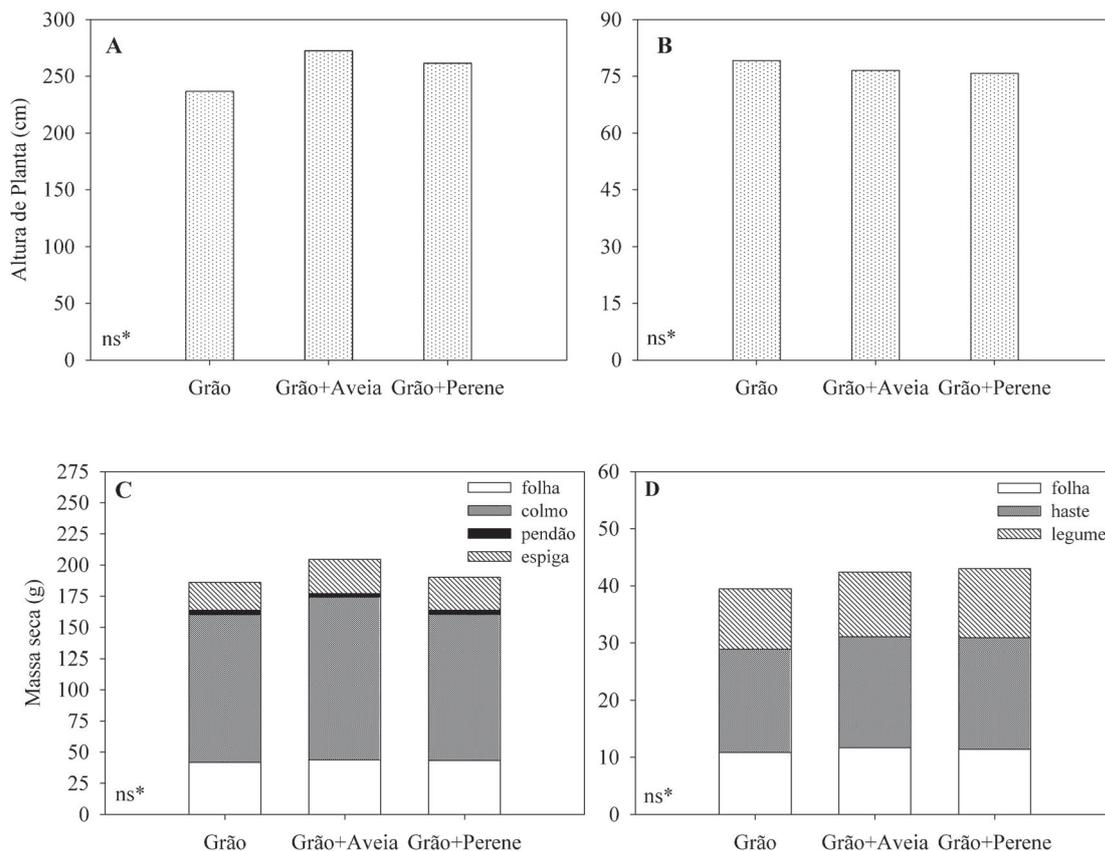


Figura 19 - Número de grãos por espiga em plantas de milho (A) e número de grãos e legumes por planta em soja (B) em diferentes sistemas de produção. ns: não significativo a teste de Tukey a 5% de probabilidade erro. Passo Fundo, 2019

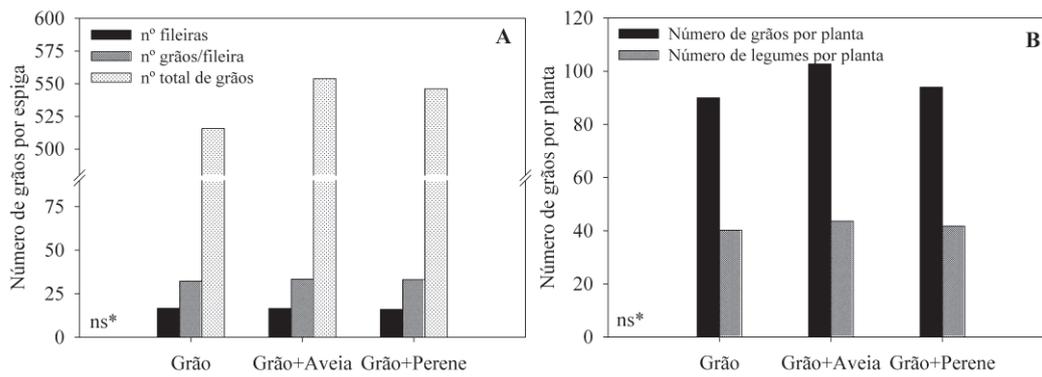


Figura 20 - Peso de mil grãos de milho (A) e de soja (B) em diferentes sistemas de produção. ns: não significativo a teste de Tukey a 5% de probabilidade erro. Passo Fundo, 2019

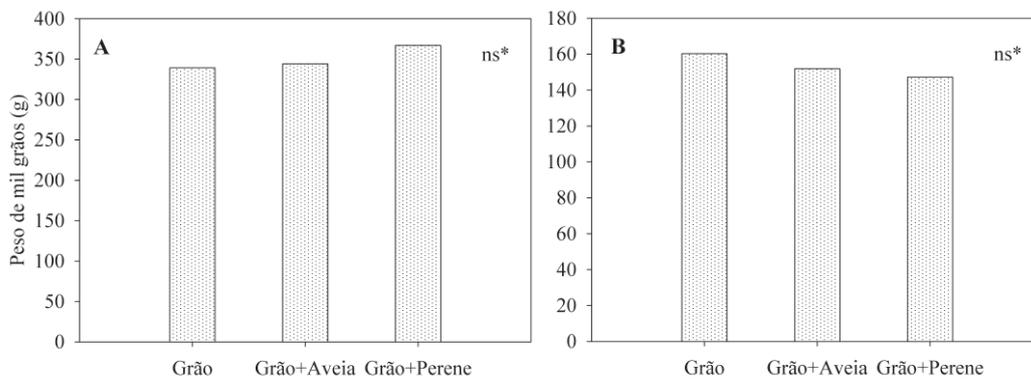
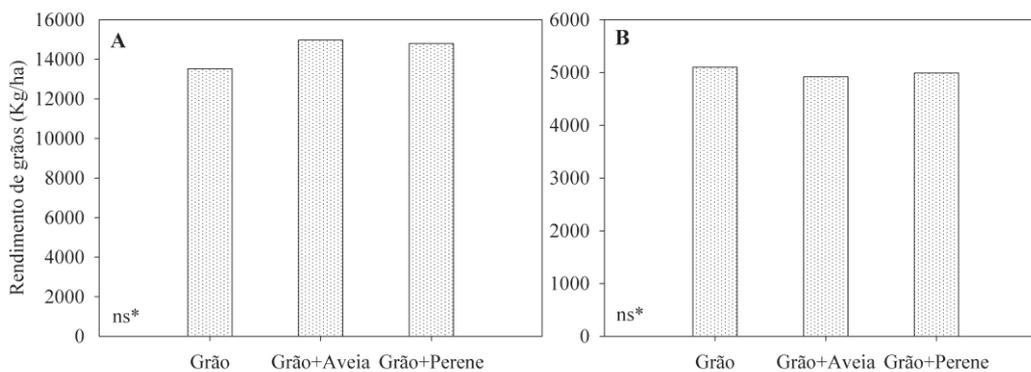


Figura 21 - Rendimento de grãos de milho (A) e soja (B) em diferentes sistemas de produção. ns: não significativo a teste de Tukey a 5% de probabilidade erro. Passo Fundo, 2019



5.5 Discussão

Quando se inseriu a grama Bermuda ou aveia-preta nos sistemas de produção não houve mudanças em variáveis como temperatura de folha e potencial hídrico foliar. Aproximadamente, 95% da água absorvida por uma planta é destinada ao arrefecimento da folha através da transpiração (QIU et al., 2000). Dessa forma, problemas na absorção da água podem causar aumento na temperatura foliar. No presente estudo, houve baixa correlação entre potencial hídrico foliar e temperatura de folha, indicando que os valores de potencial hídrico não foram limitantes ao ponto de alterar a temperatura da folha. VIEIRA JÚNIOR et al. (2007) também constatou baixa correlação entre ambas variáveis para a cultura do sorgo. De acordo com NOGUEIRA et al. (2001), um mesmo potencial de água pode ser aferido em plantas que não estão e que estão em restrição hídrica, sendo os níveis de perda de vapor para a atmosfera, o fator relevante para a constatação final de estresse por déficit hídrico.

O enrolamento foliar é uma alternativa da planta que tem como objetivo proteger contra a perda de água causada pelo calor excessivo (VIEIRA JÚNIOR et al. 2007). Em caso de enrolamento foliar, é possível notar o aumento da transmissividade de radiação solar, já que o enrolamento da folha causa redução da área foliar exposta a luz. Nesse estudo, não houve mudanças na transmissividade da radiação solar, o que supõe, não haver acontecido enrolamento foliar.

Por não haver sinais de estresse por déficit hídrico na parte superior da planta, supõe-se que não houve problemas na absorção de água pelas raízes. No entanto, a perda de umidade na camada de solo de 0 a 20 cm foi maior no sistema de produção com inserção da grama bermuda. É importante ressaltar, que raízes de plantas podem explorar camadas de solos abaixo de 20 cm, e novas avaliações devem ser realizadas em profundidades maiores para constatar os efeitos do sistema de produção. Como verificado no capítulo II desse estudo científico, houve maior macroporosidade no sistema com grama Bermuda, o que possibilita maior infiltração de água e possível armazenamento de água em camadas de solos inferiores.

A não observância de alterações nessas variáveis, implica em afirmar que a inserção de grama bermuda em sistemas integrados de produção agropecuária não

acarreta em danos às culturas da soja e milho. Como visto nos capítulos anteriores, a grama bermuda possui vantagem de proporcionar um ambiente mais propício ao crescimento e desenvolvimento vegetal, no que tange a física do solo. Como observado, variáveis relacionadas à produção de grãos de soja e milho também não foram afetadas pela inserção da grama bermuda, e também da Aveia-preta. VEIGA et al. (2012) não observaram diferenças na produtividade de grãos de soja e milho cultivados ou não sob rotação com pastagem anual de inverno. SANTOS et al. (2013) não encontraram diferenças para rendimento de grãos, massa de mil grãos e altura de plantas de soja entre diferentes sistemas integrados de produção que envolveu pastagens perenes e anuais. A grama bermuda e aveia-preta, podem ser potenciais alternativas para programas de rotações de culturas, assegurando aos produtores, sistemas de produção mais biodiversificados, o que assegura muitas vezes, a segurança produtiva na propriedade agrícola.

5.6 Conclusões

A transmissividade de radiação solar, a temperatura de folha e o potencial hídrico foliar, em milho e soja, não são afetados pela inserção da grama bermuda e aveia-preta em sistemas integrados de produção agropecuária.

A perda de umidade na camada de solo de 0 a 20 é maior em sistemas de produção onde há inserção da grama bermuda em comparação a sistemas de produção baseados em grãos.

A inserção de espécies forrageiras, como aveia-preta e grama bermuda, em sistemas integrados de produção agropecuária, não afeta a altura de planta e a produção de grãos da cultura de soja e milho.

6 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para melhor observar os efeitos benéficos da implantação de sistemas ILP sobre as propriedades edáficas e, por conseguinte, a produção vegetal, é importante a implantação de pesquisas completas à longo prazo, onde todas as espécies vegetais estudadas, de inverno e verão, façam-se presentes no experimento em questão durante todas as safras (SANTOS et al., 2009a). A intensificação de pesquisas direcionadas à diferentes espécies forrageiras agrícolas, categorias animais e características edafoclimáticas permitem a implantação de novos sistemas de produção.

Como observado, há uma gama de fatores influenciados pelo manejo adotado em uma unidade de produção agrícola. Na implantação de um sistema de produção, é primordial ao agricultor a compreensão desses fatores e suas modificações, de forma a realizar um planejamento adequado para obter maiores produções (RIBON, TAVARES FILHO, 2008). Ainda, é imprescindível ao produtor o atendimento dos fundamentos básicos, principalmente a rotação de culturas e o manejo forrageiro adequado.

A realização do presente estudo possibilitou a geração de dados que auxiliarão na compreensão do manejo adequado de novos sistemas de produção, bem como rotação de culturas. Tal compreensão fornece aos produtores embasamento para tomada de decisões na propriedade agrícola, com intuito de realizar um planejamento de melhor qualidade e assim, obter maior eficiência produtiva, além de maior rentabilidade. Além do mais, o presente estudo auxiliará a difusão de conhecimento para técnicos da área em questão, professores, alunos e pesquisadores, além de base metodológica para a elucidação de lacunas do conhecimento.

7 CONCLUSÃO GERAL

A consorciação de forrageiras anuais em rotação com culturas anuais ou com pastagens perenes possibilita inúmeras vantagens aos sistemas integrados de produção. Há maiores teores de magnésio em sistemas de produção com grama bermuda, além de maior macroporosidade do solo, gerando menor densidade relativa do solo. No entanto, é importante a avaliação da cultura que se deseja inserir no sistema, suas exigências nutricionais e principalmente seu objetivo/função no sistema de produção. A grama bermuda acarreta em reduções nos teores de fósforo e potássio no solo. Com a compreensão, principalmente, da função da cultura, o produtor tem conhecimento prévio do nível de nutrientes que pode ser exportado ou até se haverá mesmo a exportação. Sinais de estresse hídrico não são verificados em milho e soja quando rotacionados com pastagens. Além disso, a produção de grãos dessas culturas anuais não é afetada, gerando novas alternativas a diversificação da produção na agricultura.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 717-723, 2001.

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTANELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 115-119, 1995.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; SMITH, M.; RAES, D.; WRIGHT, J. L. FAO-56 dual crop coefficient procedure for predicting evaporation from soil and application extensions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE**, v. 131, n. 1, 2005.

ALTIERI, M. A. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. **Agriculture, Ecosystems & Environmental**, v. 93, p. 1-24, 2002.

ALTIERI, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v 74, p. 19-31, 1999.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 617-625, 2007.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; SPAGNOLLO, E.; COSTA DE CAMPOS, B.; VEIGA, M. da. Potential of carbon accumulation in no-Till Soils with Intensive Use and Cover Crops in Southern Brazil. **Journal Environmental Quality**, v. 35, p. 1599-1607, 2006.

AMBROSI, I.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; ZOLDAN, S. M. Lucratividade e risco de sistema de produção de grãos combinados com pastagens de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1213-1219, 2001.

ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 857-865, 2000.

ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 139-145, 1994.

ASSMANN, T. S.; RONZELLI JÚNIOR, P.; MORAES, A.; ASSMANN, A. L.; KOEHLER, H. S.; SANDINI, I. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 675-683, 2003.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRO-DA-SILVA, V.; MORAES, A. de; MARTÍNEZ, G. B.; ALVERENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELLI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, 2011.

BALBINO, L.C.; BRUAND, A.; COUSIN, I.; BROSSARD, M.; QUÉTIN, P.; GRIMALDI, M. Change in the hydraulic properties of a Brazilian clay Ferralsol on clearing for pasture. **Geoderma**, v. 120, p. 297-307, 2004.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DICKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1925-1933, 2009.

BALL-COELHO, B. R.; ROY, R. C.; SWANTON, C. J. Tillage alters corn root distribution in coarse-textured soil. **Soil and Tillage Research**, v. 45, n. 3-4, p. 237-249, 1998.

BASSOI, L. H.; FANTE JUNIOR, L.; JORGE, L. A. C.; CRESTANA, S.; REICHARDT, K. Distribuição do sistema radicial do milho em terra roxa estruturada latossólica: II. Comparação entre a cultura irrigada e fertirrigada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 541-548, 1994.

BELL, L. W.; MOORE, A. D. Integrated crop-livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications. **Agricultural Systems**, v. 111, p. 1-12, 2012.

BELTRAME, L. F. S.; TAYLOR, J. C. Causas e efeitos da compactação do solo. **Lavoura Arrozeira**, v. 33, p. 59-62, 1980.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MULLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECLÇER, B. M. M. Water supply in the critical period of maize and the grain production. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 831-839, 2004.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MULLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Water deficit and yield in maize crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 243-249, 2006.

BERGAMASCHI, H.; WHEELER, T. R.; CHALLINOR, A. J.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Maize yield and rainfall on different spatial and temporal scales in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 5, p. 603-613, 2007.

BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A. O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 7, p. 949-956, 2001.

BERTOL, I.; AMARAL, A. J.; VIDAL VÁZQUEZ, E.; PAZ GONZÁLEZ, A.; BARBOSA, F. T. Relações da rugosidade superficial do solo com o volume de chuva e com a estabilidade de agregados em água. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 543-553, 2006.

BESCANSÀ, P.; IMAZ, M. J.; VIRTO, I.; ENRIQUE, A.; HOOGMOED, W. B. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semi-arid Spain. Pamplona, Spain. **Soil & Tillage Research**, v. 87, n. 1, p. 19-27, 2006.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produção de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 843-849, 2005.

BIANCHI, C. A. M. **Avaliação de indicadores da condição hídrica em milho sob diferentes níveis de água, em semeadura direta e Convencional**. 2004. 109f. [Dissertação de Mestrado] – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BOENI, M. **Proteção física da matéria orgânica em latossolos sob sistemas com pastagens na região do Cerrado Brasileiro**. 2007. 136f. [Tese de doutorado]. Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2008.

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física no solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 7, p. 221-278, 2011.

BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v.124, p.3-22, 2005.

BUENO, B. S.; VILLAR, O. M. **Mecânica dos solos**. São Carlos: USP/EESC, 1998.

CAIRES, E. F.; HALISKI, A.; BINI, A. R.; SCHARR, D. A. Surface liming and nitrogen fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil. **European Journal of Agronomy**, v. 66, p. 41–53, 2015.

CARVALHO, P. C. F.; MORAES, A.; PONTES, L. S.; ANGHINONI, I.; SULC, R. M.; BATELLO, C. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 5 (Especial), p. 1040-1046, 2014.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, v. 195–196, p. 234–242, 2013.

CHAVES, M. M., OLIVEIRA, M. M. Mechanism's underlying plant resilience to water deficits: prospects for watersaving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, p. 2365–2384, 2004.

CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, C. P.; OSÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with stress in the field: photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, p. 907-16, 2002.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 777-788, 2005.

CONSTANTIN, J.; MARY, B.; AUBRION, G.; LAURENT, F.; FONTAINE, A.; KERVEILLANT, P.; BEAUDOIN, N. Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. **Agronomy Ecosystems Environmental**, v. 135, p. 268-278, 2010.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARTHA JUNIOR, G. B. Integração lavoura-pecuária e integração Lavoura-pecuária-floresta: estratégias para Intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 15-53, 2015.

CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.203-209, 2002.

CQFS-RS/SC – Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2016. 376p.

DALMAGO, G. A. **Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional**. 245 f. [Tese Doutorado] - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; KRUGER, C. A. M. B.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. B. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. Campina Grande, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 855-864, 2009. Suplemento.

DE VARGAS, J. P. R.; RHEINHEIMER, D. S.; BASTOS, M. C.; SCHAEFER, G.; PARISI, P. D. Application forms and types of soil acidity corrective: Changes in depth chemical attributes in long term period experiment. **Soil & Tillage Research**, v. 185, p. 47-60, 2019.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, n. 3/4, p. 227-239, 2004.

EDWARDS, A. P.; BREMNER, J. M. Microaggregates in soil. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 18, p. 64-73, 1967.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. Brasília-DF : Embrapa Solos, 2017. 573p.

ENTZ, M. H.; BARON, V. S.; CARR, P. M.; MEYER, D. W.; SMITH JR, S. R.; McCAUGHEY, W. P. Potential of forages to diversify cropping systems in the Northern Great Plains. **Agronomy Journal**, v. 94, n. 1, p. 204-213, 2002.

ERSKINE, P. D.; LAMB, D.; BRISTOW, M. Tree species diversity and ecosystem function: can tropical multi-species plantations generate greater productivity? **Forest Ecology Management**, v. 233, p. 205–210, 2006.

EWEL, J. J. Designing agricultural ecosystems for the humid tropics. **Annals Review Ecology Systems**, v. 17, p. 245–271, 1986.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Ameliorating soil acidity of tropical oxisols by liming for sustainable crop production. **Advances in Agronomy**, v. 99, p. 345–399, 2008.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Cultura do feijoeiro: estresse e produtividade. In: FANCELLI, A. L., DOURADO NETO, D. **Feijão irrigado, tecnologia e produtividade**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2005.

FERNANDES, F. B. P.; LACERDA, C. F.; ANDRADE, E. M.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, C. H. C. Efeito de manejos do solo no déficit hídrico, trocas gasosas e rendimento do feijão-de-corda no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 506-515, 2015

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, out./dez. 2010.

FIGUEIREDO, L. H. A.; DIAS JÚNIOR, M. S.; FERREIRA, M. M. Umidade crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 487-493, 2000.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; GALMÉS, J.; MEDRANO, H.; RIBAS-CARBÓ, M. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. **Physiologia Plantarum**, v. 127, p. 343-352, 2006.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, G.; CORNIC, G.; SHARKEY, T. D. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biology**, v. 6, p. 269–279, 2004.

FLOWER, K. C.; CRABTREE, W. L. Soil pH change after surface application of lime related to the levels of soil disturbance caused by no-tillage seeding machinery. **Field Crop Research**, v. 121, p. 75–87, 2011.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de latossolo vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiás, v. 37, n. 1, p. 22-30. 2007.

FONTANELI, R.S; AMBROSI, I.; SANTOS, H.P.; IGNACZAK, J.C.; ZOLDAN, S.M. Análise econômica de sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 11, p. 2129-2137, 2000.

FRANCHINI, J. C.; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. Redistribution of phosphorus in soil through cover crop roots. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, p. 381–386, 2004.

FRANÇOIS, T. **Relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária**. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Água do Solo) - Universidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2012.

FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic carbon sequestration and agricultural greenhouse gas emissions in the southeastern USA. **Soil Tillage Research**, v. 83, p. 120-147, 2005.

FRANZLUEBBERS, A.J. Integrated crop-livestock systems in the southeastern USA. **Agronomy Journal**, v.99, p.361-372, 2007.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L.; SILVA, A.P. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo no crescimento e na produtividade da cultura do milho. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, p. 477-486, 2007.

GARCIA-BARRIOS, L. **Plant-plant interactions in tropical agriculture**. In: VANDERMEER, J. (Ed.), *Tropical Agroecosystems*, CRC Press, 2003, pp. 11–58.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J., RHEINHEIMER, D. S., BRUNETTO, G., Superphosphate and rock phosphates as phosphorus sources for grass-clover pasture on a limed acid soil in southern Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, p. 2503–2514, 2003.

GHOHMANN, F.; QUEIROZ NETO, J. P. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração de raízes de arroz. **Bragantia**, Campinas, v. 25, n. 39, p. 419-431, 1996.

GILLER, K. E.; BEARE, M. H.; LAVELLE, P.; IZAC, M.N.; SWIFT, M.J. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. **Applied Soil Ecology**, v. 6, p. 3–16, 1997.

GLIESMANN, S. R. **Agroecosystem sustainability: developing practical strategies**. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 2001.

GOMES, P. C.; MOURA FILHO, W.; COSTA, L. M.; FORTES, M. P. F. Influência da cobertura vegetal na formação e evolução de húmus e sua relação com grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Amarelo do Município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 41, n. 235, p. 223-233, 1994.

GRIFFON, M. Développement durable et agriculture: la revolution doublement verte. **Cahiers Agricultures**, v. 8, p. 259–267, 1999.

GUBIANI, P. I. **Tempo para ocorrência da resistência à penetração restritiva ao feijoeiro em solo com diferentes estados de compactação**. 2008. 108 f. [Dissertação de Mestrado]. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

GURR, G. M.; WRATTEN, S. D.; LUNA, J. M. Multi-function agricultural biodiversity: pest management and other benefits. **Basic Applied Ecology**, v. 4, p. 107–116, 2003.

HAKANSSON, I.; LIPIEC, J. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. **Soil and Tillage Research**, v. 53, n. 2, p. 71-85, 2000.

HECTOR, A.; SCHMID, B.; BEIERKUHNLIN, C. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. **Science**, v. 286, p.1123–1127, 1999.

HERNANI, L. C.; GUIMARÃES, J. B. R. Efeitos de sistemas de preparo do solo e rotação de culturas em atributos físicos de um Latossolo Roxo. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14, Temuco, 1999. **Resúmenes...**, Temuco, Universidad de La Frontera, 1999.

HERRERO, M.; THORNTON, P. K.; NOTENBAERT, A. M.; WOOD, S.; MSANGI, S.; FREEMAN, H. A.; BOSSIO, D.; DIXON, J.; PETERS, M.; VAN DE STEEG, J.; LYNAM, J.; PARTHASARATHY RAO, P.; MACMILLAN, S.; GERARD, B.; MCDERMOTT, J.; SERÉ, C.; ROSEGRANT, M. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. **Science**, v. 327, p. 822-825, 2010.

HILLEL, D. **Soil and water: physical principles and processes**. 3. ed. New York: Academic Press, 1973. 288 p.

HOBBS, R. J.; MORTON, S. R. Moving from descriptive to predictive ecology. **Agroforestry Systems**, v. 45, p. 43–55, 1999.

HUGGINS, D. R.; ALLMARAS, R. R.; CLAPP, C. E.; LAMB, J. A.; RANDALL, G. W. Corn-soybean sequence and tillage effects on soil carbon dynamics and storage. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, p. 145-154, 2007.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicação da curva de resistência do solo à penetração no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1493-1500, 2000.

IRIZAR, A. **Cambios en la reserva de materia orgánica del suelo y sus fracciones granulométricas: efecto de la secuencia de cultivo, del sistema de labranza y de la fertilización nitrogenada**. [Tesis de Magister]. Ciencia del Suelo – Universidad de Buenos Aires, 2010.

JACKSON, W. Natural systems agriculture: a truly radical alternative. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 88, p. 111–117, 2002.

KAMINSKI, J.; DOS SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; DA SILVA, L. S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 573–580, 2005.

KELTY, M. J. The role of species mixtures in plantation forestry. **Forest Ecology Management**, v. 233, p. 195–204, 2006.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009. 452 p.

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

KLEIN, V. A. **Física do solo**. 3° ed. Passo Fundo: Ediupf, 2014.

KLEIN, V. A. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. 1998. 150 p. (Tese de Doutorado). USP-ESALQ, Piracicaba, 1998.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 7, p. 1550-1556, jul, 2010.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 843-853, 2002.

KRON, A. P.; SOUZA, G. M.; RIBEIRO, R. V. Water deficiency at different developmental stages of *Glycine max* can improve drought tolerance. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 43-49, 2009.

KRZIC, M.; BULMER, C.; TESTE, F.; RAHMAN, S.; DAMPIER, L. **Relative measure of bulk density to characterize compaction of forest soils caused by harvest**. Vancouver: UBC, 2003. (Final Report R2003-0219).

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1131-1140, 2007.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Brasil: E. RiMa, 2000. 530p

LAVADO, R. **La Región Pampeana**: historia, característica y uso de sus suelos. En: R Álvarez (ed.). **Materia orgánica: Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos**. p. 1-11. Buenos Aires. Argentina, 2006.

LEMAIRE, G.; FRANZLUEBBERS, A.; CARVALHO, P. C. F.; DEDIEU, B. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.190, p.4-8, 2014.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advances in Soil Science**, v.1, p. 277-294, 1985.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: P. L. Libardi, 2005. 335 p.

LIMOUSIN, G.; TESSIER, D. Effects of no-tillage on chemical gradients and topsoil acidification. **Soil Tillage Research**, v. 92, p. 167–174, 2007.

LIU, A.; MA, B. L.; BOMKE, A. A. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 69, n .2, p.2041-2048, 2005.

LOREAU, M.; NAEM, S.; INCHAUSTI, P.; BENGTSSON, J.; GRIME, J. P.; HOOPER, D. U.; HUSTON, M. A. TAFFAELLI, D.; SCHMID, B.; TILMAN, D.; WARDLE, D. A. Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. **Science**, v. 294, p. 804–808, 2001.

MALÉZIEUX, E.; CROZAT, Y.; DUPRAZ, C.; LAURANS, M.; MAKOWSKI, D.; OZIER-LAFONTAINE, H.; RAPIDEL, B.; TOURDONNET, S. de; VALANTIN-MORISON, M. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. **Agronomy Sustainable for Development**, v. 29, p. 43-62, 2009.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; JUNIOR, J. D. G .S.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L. BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007.

MARCOLIN, C. D. **Indicadores da qualidade física de solos sob plantio direto obtidos por funções de pedotransferência**. Tese (Doutorado em Agronomia) – FAMV-UPF, Passo Fundo, 2009. 183p.

MARCOLIN, C. D.; KLEIN, V. A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 349-354, 2011.

MARTINS, J. D. **Modificações morfofisiológicas em plantas de milho submetidas a déficit hídrico**. [Dissertação de Mestrado]. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MATEUS, C. de M. D. **Exportação de nutrientes pela grama Bermuda Tifdwarf utilizada em Greens de campo de golfe**. 2011. 72f. [Tese de Doutorado]. Faculdade de Ciências Agrônomicas – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (Campus de Botucatu). São Paulo, 2011.

MEDICI, L. O.; AZEVEDO, R. A.; CANELLAS, L. P.; MACHADO, A. T.; PIMENTEL, C. Stomatal conductance of maize under water and nitrogen deficits. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 599-601, 2007.

MENDES, R. M. S.; TÁVORA, F. J. A. F.; PITOMBEIRA, J. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 1, p. 95-103, 2007.

METAY, A.; ALVES MOREIRA, J. A.; BERNOUX, M.; BOYER, T.; DOUZET, J. M.; FEIGL, B.; FELLER, C.; MARAUX, F.; OLIVER, R.; SCOPEL, E. Storage and forms of organic carbon in a no-tillage under cover crops system on clayey Oxisol in dryland rice production (Cerrados, Brazil). **Soil Tillage Research**, v. 94, p. 122-132, 2007.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.S.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3, p.209-248.

NIU, S. L.; JIANG, G. M.; LI, Y. G.; GAO, L. M.; LIU, M. Z. Diurnal gas Exchange and superior resources use efficiency of typical C4 species in Hunshandak Sandland, China. **Photosynthetica**, v. 41, n. 2, p. 221-226, 2003.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V. de; BURITY, H. A.; BEZERRA NETO, E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 13, n. 1, p. 75-87, 2001.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 327-336, 2004.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Ed. Agronomica Ceres, 1981. 440 p.

OTIENO, D. O.; KURZ-BESSON, C.; LIU, J.; SCHMIDT, M. W. T.; VALE-LOBO, R. do; DAVID, T. S.; SIEGWOLF, R.; PEREIRA, J. S.; TENHUNEN, J. D. Seasonal variations in soil and plant water status in a *Quercus suber* L. Stand: roots as determinants of tree productivity and survival in the Mediterranean-type ecosystem. **Plant Soil**, v. 283, p. 119-135, 2006.

PANACHUKI, E.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 261-268, 2006.

PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; MENDONÇA, E. S.; CANTARUTTI, R. B.; SOUZA, A. P. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um latossolo vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 1119-1129, 2007.

PETRY, M. T.; ZIMMERMANN, F. L.; CARLESSO, R.; MICHELON, C. J.; KUNZ, J. H. Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 531-539, 2007.

QIU, G.Y.; MIYAMOTO, K.; SASE, S.; LIM, O. Detection of crop transpiration and water stress by temperature-related approach under field and greenhouse conditions. **Japan Agronomy Research**, v. 34, n. 1, p. 29-37, 2000.

RAO, S. C.; PHILLIPS, W. A.; MAYEUX, H. S.; PHATAK, S. C. Potential grain and forage production of early maturing pigeonpea in the Southern Great Plains. **Crop Science**, v. 43, n. 6, p. 2212-2217, 2003.

RESTOVICH, S. B.; SASAL, M. C.; IRIZAR, A. B.; RIMATORI, F.; DARDER, M. L.; ANDRIULO, A. E. Rotación con maíz vs. monocultivo de soja: efecto sobre los stocks de carbono y nitrógeno edáficos. **In: Congreso Nacional de Maíz**. Rosario, 8, p. 208. Santa Fe, Argentina, 2005.

RHEINHEIMER, D.S.; TIECHER, T.; GONZATTO, R.; ZAFAR, M.; BRUNETTO, G. Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a longterm experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, v. 313, p. 7–16, 2018.

RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. Estimativa da resistência mecânica à penetração de um latossolo vermelho sob cultura perene no norte do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32 n. 5, 2008.

ROSA JUNIOR, E. J.; MARTINS, R. M. G.; ROSA, I. B. C. J.; CREMON, C. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.36, n.1, p.37-44, 2006.

RUSSELLE, M. P.; ENTZ, M. H.; FRANZLUEBBERS, A. J. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 2, p. 325-334, 2007.

SAHA, S.; STRAZISAR, T. M.; MENGES, E. S.; ELLSWORTH, P.; STERNBERG, L. Linking the patterns in soil moisture to leaf water potential, stomatal conductance, growth, and mortality of dominant shrubs in the Florida scrub ecosystem. **Plant Soil**, v. 313, p. 113–127, 2008.

SAHRAWAT, K. L.; WANI, S. P.; PATHAK, P.; REGO, T. J. Managing natural resources of watersheds in the semi-arid tropics for improved soil and water quality: A review. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 3, p. 375-381, 2010.

SAINJU, U. M.; SINGH, B. P.; WHITEHEAD, W. F. Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soil in Georgia, USA. **Soil Tillage. Research**, v. 63, p. 167-179, 2002.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FABRÍCIO, A. C.; BROCH, D. L. Avaliação de atributos físicos e químicos do solo e rendimento de grãos na rotação lavoura-pastagem no sistema plantio direto. **In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO**, 14., Temuco, 1999. Suelo – Ambiente – Vida: resúmenes. Temuco, Universidad de La Frontera, 1999.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, n. 1, p. 11-21, 2008.

SANTOS, G. A.; DIAS JÚNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; FURTINI NETO, A. E. Diferentes graus de compactação e fornecimento de fósforo influenciando no crescimento de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivado em solos distintos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 4, p.740-750, 2005.

SANTOS, H. P. FONTANELI, R. S.; PIRES, J. L. F.; FONTANELI, R. S.; BIAZUS, V.; VERDI, A. C.; VARGAS, A. M. Rendimento de grãos e características agronômicas de soja em função de pastagens perenes em sistema de plantio direto. **Bragantia**, v. 73, n. 3, 2014a.

SANTOS, H. P. FONTANELI, R. S.; PIRES, J. L. F.; LAMPERT, E. A.; VARGAS, A. M.; VERDI, A. C. Rendimento de grãos e características agronômicas de soja em função de sistemas de rotação de culturas. **Bragantia**, v. 73, n. 3, p. 263-273, 2014b.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP) sobre a fertilidade do solo em plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, p. 719-727, 2009a.

SANTOS, H. P.; SPERA, S. T.; FONTANELI, R. S.; LOCATELLI, M.; SANTI, A. Alterações edáficas decorrentes de diferentes manejos de solo e rotação de culturas em latossolo sob condições subtropicais. **Nativa**, v. 3, n. 4, p. 233-240, 2015.

SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; SPERA, S.T.; MALDANER, G.L. Rendimento de grãos e em diferentes sistemas de produção integração Lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, p.49-56, 2013.

SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 2, p. 259-265, 1999.

SANTOS, M. G.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; PIMENTEL, C. Photosynthetic parameters and leaf water potential of five common beans genotypes under mild water deficit. **Biologic Plantarum**, v. 53, n. 2, p. 229-236, 2009b.

SCHIAVO, J. L.; COLODRO, G. Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 3, p.406-412, 2012.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 579-585, 2006.

SILVA, A. P.; LEÃO, T. P.; TORMENA, C. A.; GONÇALVES, A. C. A. Determinação da permeabilidade ao ar em amostras indeformadas de solo pelo método da pressão decrescente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1535-1545, 2009.

SILVA, M. L. N.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J. M.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CARVALHO, A. M. Estabilidade e resistência de agregados de um Latossolo Vermelho- Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 97-103, 1998.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicial do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 191-199, 2000.

SINGER, M. J.; EWING, S. Soil quality. In: SUMNER, M. E. **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC, 2000. p. G271-G298.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v.79, p.7-31, 2004.

SOUSA, D. M. G.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L. **Adubação fosfatada**. In: MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. (Ed.). Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2007. p.145-178.

SOUZA, G. M.; CARDOSO, V. J. M. Toward a hierarchical concept of plant stress. **Israel Journal of Plant Sciences**, Jerusalem, v. 51, p. 29-37, 2003.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Avaliações de alguns atributos físicos de solo em sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto. **Revista Científica Rural**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 23-31, 2004a.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 533-542, 2004b.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1193-1200, 2006.

SPERA, S.T; FONTANELI, R.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Revisada e ampliada. Porto Alegre: EMATER-RS, 2008. 222p.

SULC, R. M.; TRACY, B. F. Integrated crop-livestock systems in the U.S. corn belt. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 2, p. 335-345, 2007.

SWIFT, M. J.; IZAC, A. M. N.; VAN NOORDWIJK, M. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes. Are we asking the right questions? **Agriculture, Ecosystems & Environmental**, v. 104, p.113-134, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: E. Artmed, 2013.918 p.

TILMAN, D.; CASSMAN, K.; MATSON, P.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, p. 671-677, 2002.

TILMAN, D.; KNOPS, J.; WEDIN, D.; REICH, P.; RITCHIE, M.; SIEMANN, E. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. **Science**, v. 277, p. 1300–1302, 1997.

TILMAN, D.; WEDIN, D.; KNOPS J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grasslands ecosystems. **Nature**, v. 379, p. 718–720, 1996.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, v. 33, p.141-163, 1982.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 573-581, 1998.

TRACY, B. F.; ZHANG, Y. Soil compaction, corn yield response, and soil nutrient pool dynamics within an integrated croplivestock system in Illinois. **Crop Science**, v. 48, n. 3, p. 1211-1218, 2008.

VAN GENUCHTEN, M. T. H. Closed-Form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-897, 1980.

VAN NOORDWIJK, M.; LUSIANA, B. WaNuLCAS, a model of water, nutrient and light capture in agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, 43, 217–242, 1998.

VANDERMEER, J.; VAN NOORDWIJK, M.; ANDERSON, J.; ONG, C.; PERFECTO, I. Global change and multi-species ecosystems: concepts and issues. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 67, p. 1–22, 1998.

VEIGA, M.; DURIGON, L.; PANDOLFO, C. M.; BALBINOT JÚNIOR, A. A. Atributos de solo e de plantas afetados pelo manejo da pastagem anual de inverno em sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.3, p.444-450, mar, 2012.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n.4, Viçosa, 2009.

VIEIRA JÚNIOR, P. A.; DOURADO NETO, D.; OLIVEIRA, R. F.; PERES, L. E. P.; MARTIN, T. N.; MANFRON, P. A.; BONNECARRÉRE, R. A. G. Relações entre potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 29, n. 4, p. 555-561, 2007.

VILA, M.; VAYREDA, J.; GRACIA, C.; IBANEZ, J. J. Does tree diversity increase wood production in pine forests? **Oecologia**, v. 135, p. 299–303, 2003.

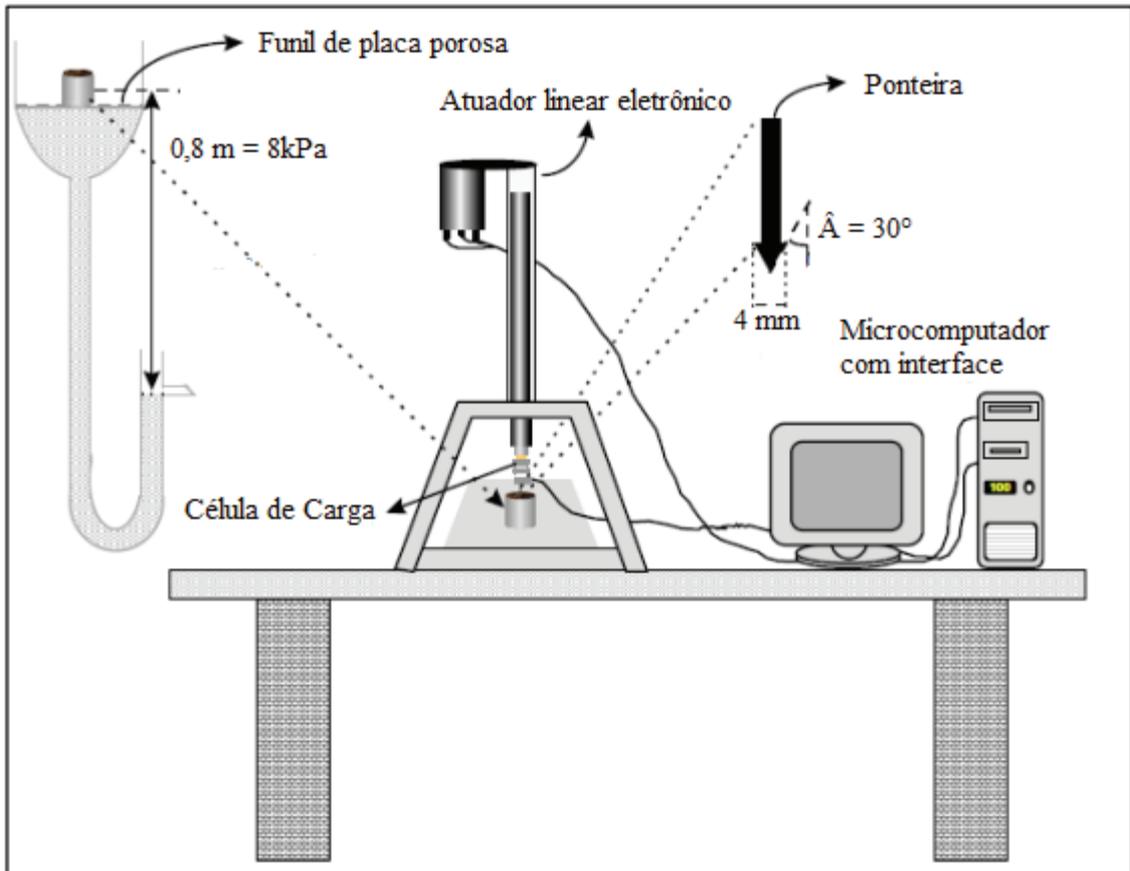
WARREN, C. R., LIVINGSTON, N. J., TURPIN, D. H. Water stress decreases the transfer conductance of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziensis*) seedlings. **Tree Physiology**, v. 24, p. 971–979, 2004.

WRIGHT, I. A.; TARAWALI, S.; BLÜMMEL, M.; GERARD, B.; TEUFEL, N.; HERRERO, M. Integrating crops and livestock in subtropical agricultural systems. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, p. 1010-1015, 2012.

YAO, Q.; LI, X.; FENG, G.; CHRISTIE, P. Mobilization of sparingly soluble phosphates by the external mycelium of an arbuscular mycorrhizal fungus. **Plant and Soil**, v. 230, p. 279-285, 2001.

ANEXOS

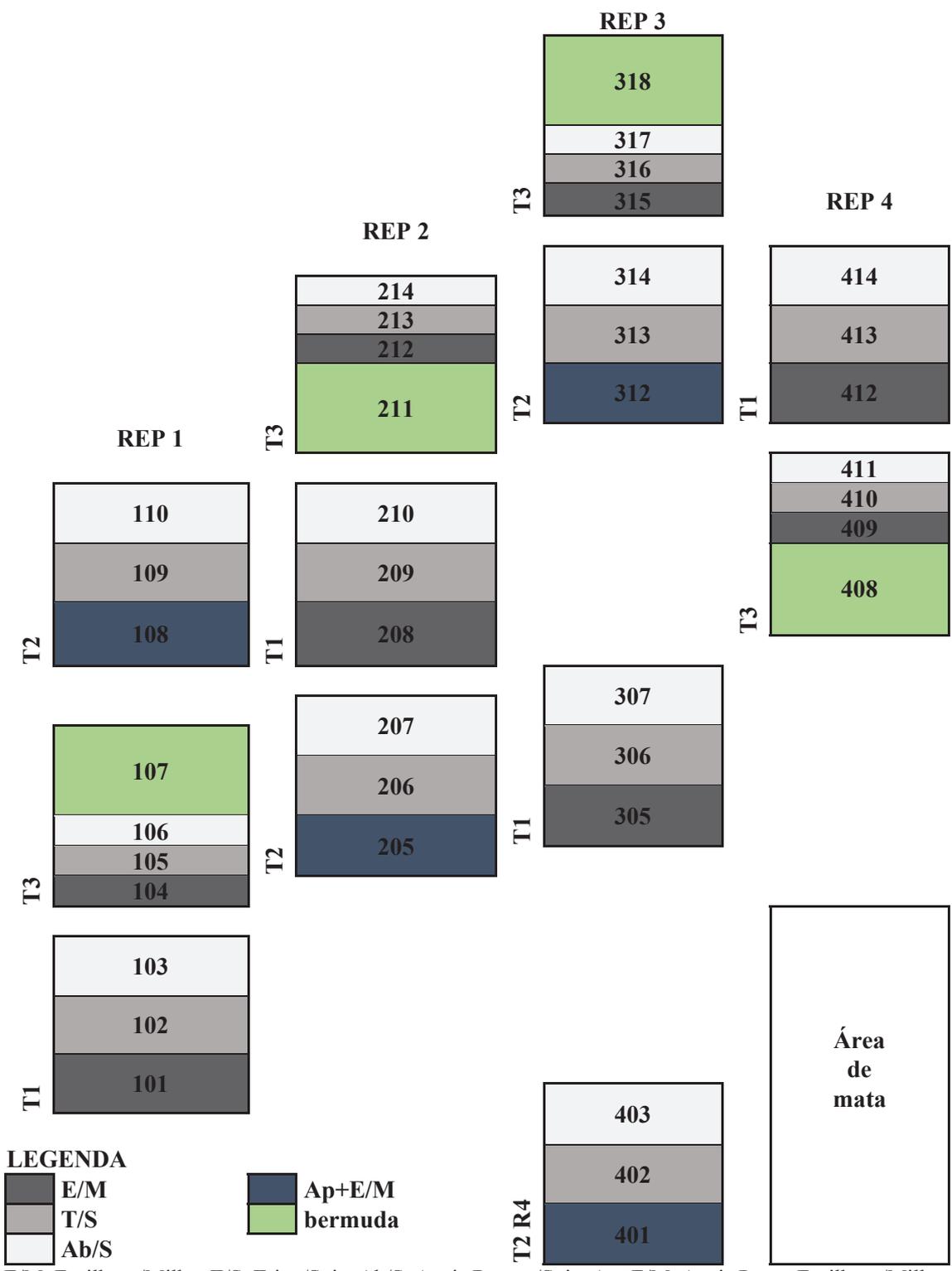
Anexo I Esquema de penetrômetro eletrônico utilizado para a aferição da RMP.



Fonte: Klein (1998).

APÊNDICES

Apêndice I Croqui do experimento



E/M: Ervilhaca/Milho; T/S: Trigo/Soja; Ab/S: Aveia Branca/Soja; Ap+E/M: Aveia Preta+Ervilhaca/Milho; bermuda: Grama-Tifton. Ressalta-se que os tratamentos utilizados para esse projeto são apenas parte de um estudo maior, que é composto por cinco sistemas de produção.



PPGAgro

Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAMV