

**INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DO SOLO E ESTADO HÍDRICO DAS
PLANTAS EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA E
PECUÁRIA NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO**

Sérgio Ely Valadão Gigante de Andrade Costa

(Tese de Doutorado)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA O SOLO

**INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DO SOLO E ESTADO HÍDRICO DAS
PLANTAS EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA
NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO**

SÉRGIO ELY VALADÃO GIGANTE DE ANDRADE COSTA

Engenheiro Agrônomo (UFLA)

Mestre em Ciência do Solo (UFRGS)

Tese apresentada como
um dos requisitos à obtenção do
Grau de Doutor em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Agosto de 2014

CIP - Catalogação na Publicação

Valadão Gigante de Andrade Costa, Sérgio Ely
INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DO SOLO E ESTADO HÍDRICO
DAS PLANTAS EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO
AGRÍCOLA E PECUÁRIA NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO / Sérgio
Ely Valadão Gigante de Andrade Costa. -- 2014.
226 f.

Orientador: Ibanor Anghinoni.
Coorientador: José Miguel Reichert.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-RS,
2014.

1. sistema integrado de produção. 2. rendimento de
soja. 3. intensidade de pastejo. 4. parâmetros
fisiológicos de planta. 5. água no solo. I.
Anghinoni, Ibanor, orient. II. Reichert, José
Miguel, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

SÉRGIO ELY VALADÃO GIGANTE DE ANDRADE COSTA
Engenheiro Agrônomo (UFLA)
Mestre em Ciência do Solo (UFRGS)

TESE

Submetida como parte dos requisitos

para a obtenção do Grau de

DOUTOR EM CIÊNCIA DO SOLO

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo

Faculdade de Agronomia

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: __/__/____
Pela Banca Examinadora

Homologado em: __/__/____
por

IBANOR ANGHINONI
Professor Orientador
PPG-Ciência do Solo

ALBERTO VASCONCELLOS INDA JR.
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo

RENATO LEVIEN
Departamento de Solos/UFRGS

OSMAR CONTE
EMBRAPA Soja/Londrina

PEDRO SELBACH
Diretor da Faculdade de Agronomia

LETÍCIA SEQUINATTO
Centro de Ciências Agroveterinárias/UDESC

Ao Tio Vadinho (In memorium)

Ao Tio Peralta (In memorium)

A tia Vera (In memorium)

Ao Tio Edinho e família

Ao Vovô Frazeca e Rui e Vovó Sisi e
Nair (In memorium)

A todos vocês DEDICO este trabalho.

*"O mundo é um livro, e quem fica
sentado em casa lê somente uma
página." Santo Agostinho*

AGRADECIMENTOS

Ao professor Ibanor Anghinoni pela orientação na elaboração deste trabalho e acima de tudo pelo exemplo de ser humano demonstrado pelos seus atos e palavras.

Aos professores e funcionários do departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e da Estação Experimental Agronômica da UFRGS.

A minha amiga e “irmã” Amandinha, pela oportunidade de conviver com alguém que busca o conhecimento para o avanço do país, sempre buscando compartilhá-lo.

Ao Zé pelo auxílio dado e companheirismo, um amigo do peito.

A toda equipe da Física do Solo da UFSM pelo apoio e amizade e, em especial, Professor José Miguel Reichert, Susuka, Eloi, Rafael, Ramon, Espeto e Jean. Ao Fina e professor Paulo Gubiani pelo companheirismo.

Aos colegas do Departamento de Solos e Forrageiras da UFRGS, em especial Taise, Michael, Broeto, Moacir, Arnuti, Bernardo, João e Fabricio.

Ao Adão por ser a pessoa quem me acolheu em seu coração e a quem respeito e admiro de uma forma única.

Ao Sérgio Siqueira pela vontade de viver que me moveu na reta final deste trabalho e meu padrinho Romão e todos da minha cidade natal Guaratinguetá, que fizeram com que este momento pudesse acontecer.

Ao meu pai Danilo de Andrade Costa, pelo incentivo na eterna busca pelo conhecimento, por me mostrar que a sabedoria inexiste sem a humildade e acima de tudo que a grandiosidade de um homem não está em suas conquistas, mas sim no reconhecimento de seus defeitos e fragilidades assim como na sua capacidade de formar uma família digna, respeitada e amada.

A minha mãe, Dulce Maria Valadão Cardoso, pelo amor imensurável, pela força e garra eterna me ensinando que a única ferramenta capaz de melhorar uma pessoa, comunidade ou país é o trabalho honesto. Sem ela minha vida e, principalmente esta tese, não teriam sentido ou êxito.

A minha namorada, Leticia Delavald, pelo carinho, atenção, paciência e dedicação ao longo deste trabalho. Que a sua bondade e ternura continuem alimentando a minha vida.

INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DO SOLO E ESTADO HÍDRICO DAS PLANTAS EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO ¹

Autor: Sérgio Ely Valadão Gigante de Andrade Costa

Orientador: Ibanor Anghinoni

Co-orientador: José Miguel Reichert

RESUMO

Sistemas integrados de produção agropecuária apresentam algumas peculiaridades quanto ao seu impacto nas propriedades físico-hídricas do solo e da planta. Objetivou-se, avaliar a utilização do intervalo hídrico ótimo e de parâmetros fisiológicos da planta, pelo monitoramento das condições fisio-edafoclimáticas, como indicadores da eficiência do manejo do sistema. Para isso, utilizou-se um experimento de longa duração localizado no Planalto do Rio Grande do Sul, em Latossolo Vermelho distroférico, com soja no verão e pastejo em aveia preta + azevém no inverno. Os tratamentos consistem de diferentes intensidades de pastejo: intenso, moderado e sem pastejo. Em condições de estresse hídrico, os sistemas sem e com pastejo moderado contribuem para maiores valores de potencial hídrico e menores temperaturas da folha de soja em relação à do ar, tanto no período da manhã como no de maior estresse hídrico (meio dia). O intervalo hídrico ótimo não é um indicador da qualidade física do solo para o sistema integrado de produção. A maior produção de resíduos e armazenamento hídrico no sistema sem pastejo determinam a maior produtividade da soja em anos com deficiência hídrica. O manejo adequado da pastagem pelo uso de intensidades moderadas de pastejo permite, independentemente de diferenças na umidade do solo, a manutenção do estado hídrico da aveia semelhante à condição sem pastejo, independentemente da presença de animais.

¹ Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (XXX p.) Agosto, 2014. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq e da CAPES.

LEAST LIMITING WATER RANGE AND PLANT WATER STATUS IN INTEGRATED CROP LIVESTOCK SYSTEM IN THE BRAZILIAN SUBTROPICS¹

Author: Sérgio Ely Valadão Gigante de Andrade Costa

Adviser: Ibanor Anghinoni

Co-adviser: José Miguel Reichert

ABSTRACT

Crop-livestock integrated systems present some peculiarities regarding impacts in soil and plant hydro-physical properties. Thus, understanding the impacts of grazing management under crop-livestock integration relies on evaluating soil and plant hydric and physical status. This work had the objective of evaluating the use of the least limiting water range and plant physiological parameters, by monitoring physio-edaphoclimatic conditions, as indicators of management efficiency. For such, a long-term trial located in the Planalto region in Rio Grande do Sul state (Brazil), in a Rhodic Hapludox (Oxisol), with soybean summer cropping and black oat+Italian ryegrass winter grazing. Treatments consisted of different winter grazing intensities: intensive, moderate and no grazing. Under water stress conditions, no grazing and moderate grazing contributed to higher soybean water leaf potentials and lower leaf to air temperatures, both during dawn and at highest water stress period at mid-day. The least limiting water range is not a soil physical quality indicator for the integrated system. Higher residue production and water storage under no grazing result in higher soybean yields under water stress conditions. Well-managed pasture, with moderate grazing intensities, enables, despite soil water content, similar black oat water status as compared to no grazing conditions, with or without the presence of animals.

¹ Ph.D. Thesis in Soil Science – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (XXX p.) August, 2014. Research supported by CNPq and CAPES.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. CAPÍTULO I. ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO	4
2.1. Equilíbrio em sistemas de produção de alimentos	4
2.2. Sistemas de produção integrada de alimentos	5
2.3. A água e sua importância em sistemas de produção de alimentos	7
2.4. Disponibilidade hídrica	13
2.5. A disponibilidade hídrica em sistemas integrados de produção	15
2.6. Estado hídrico das plantas.....	19
2.7. Estresse hídrico.....	29
2.8. O grau de compactação do solo e seus impactos no rendimento das culturas e animal em sistemas puros e integrados de produção	34
2.9. O Intervalo hídrico ótimo (IHO) como ferramenta de avaliação da qualidade física do solo	43
3. CAPÍTULO II. MATERIAL E MÉTODOS GERAL.....	46
3.1. Histórico, localização e caracterização da área experimental.....	46
3.2. Tratamentos, delineamento experimental e condução do experimento.....	47
4. CAPÍTULO III. ESTUDO 1 – CONFRONTANDO INDICADORES DE SOLO E PLANTA NA CULTURA DA SOJA EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA	51
4.1. Introdução	51
4.2. Material e métodos	55
4.3. Resultados e discussão.....	63
4.4. Conclusões.....	104
5. CAPÍTULO IV. ESTUDO 2 – AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO PASTEJO NA AVEIA EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NO SUB-TRÓPICO BRASILEIRO POR UMA NOVA PERSPECTIVA: O ESTADO HÍDRICO DO PASTO.....	106
5.1. Introdução	106
5.2. Material e Métodos	109
5.2.1 Condução do ciclo de pastejo em 2012	110
5.2.2 Monitoramento meteorológico	110
5.2.3 Análises estatísticas.....	111
5.3. Resultados e Discussão	112
5.4. Conclusões.....	125
7. CAPÍTULO VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	126
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128
9. APÊNDICES.....	181

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da implantação do experimento (São Miguel das Missões RS, novembro de 2000)	47
Tabela 2. Histórico de adubações realizadas na soja e na pastagem no protocolo experimental do sistema integrado de produção agropecuária (São Miguel das Missões RS)	50
Tabela 3. Características da pastagem e do desempenho animal no ciclo de pastejo de 2011 (São Miguel das Missões RS)	56
Tabela 4. Relação Ds/DsclHO, rendimento (R) e rendimento relativo da soja ¹ (RR) em um Latossolo vermelho distroférrico no sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo	94
Tabela 5. Rendimento de soja em diferentes safras em Latossolo Vermelho distrófico em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto e intensidades de pastejo	95

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1. Relações de processos no sistema solo-planta-animal-máquina-atmosfera (SPAMA) em sistemas integrados de produção agropecuária.....	3
Figura 2. Croqui da área experimental na Fazenda do Espinilho – São Miguel das Missões RS.....	48
Figura 3. Temperatura (a) e umidade relativa do ar - URA (b) e precipitação pluviométrica (c) no ciclo da soja na safra 2011/12 na área experimental (São Miguel das Missões RS).	62
Figura 4. Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade campo (θ_{cc}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), resistência à penetração (θ_{RP}) e porosidade de aeração (θ_{PA}) em função da densidade do solo na camada de 0-50 cm em Latossolo Vermelho distroférico no sistema integrado soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo.	64
Figura 5. Densidade do solo no perfil de Latossolo Vermelho distroférico em sistema integrado soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo..	65
Figura 6. Variação do conteúdo de água com a densidade do solo em um Latossolo Vermelho distroférico no sistema soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo.....	70
Figura 7. Umidade volumétrica ao longo do ciclo da soja (a, b, c, d, e e f) no perfil de um Latossolo vermelho distroférico em sistema soja-pecuária de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo.	72
Figura 8. Temperatura e potencial de água na folha: (a) manhã e (b) tarde, em um Latossolo Vermelho distroférico no sistema integrado de soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo	79
Figura 9. Diferença de temperatura da folha e do ar: (a) manhã e (b) tarde, em um Latossolo Vermelho distroférico no sistema integrado soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo.	80
Figura 10. Déficit de pressão de vapor (DPV) entre a folha e o ar: (a) manhã e (b) tarde, em um Latossolo vermelho distroférico no sistema integrado soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo.....	87
Figura 11. Rendimento relativo de grãos de soja, em função da relação Ds/Dsc encontrada no IHO (Dados compilados de Conte et al., 2011), na camada de 0-30 cm, em Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo.	96

Figura 12. Relação do rendimento da cultura da soja com a lâmina de água na camada de 0-5 cm em Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo.	100
Figura 13. Rendimento de grãos de soja em função da precipitação na safra 2011/12 (a) e precipitação em diferentes safras em Latossolo Vermelho distroférico no sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo.....	101
Figura 14. Precipitação (a) e temperatura do ar (b) históricas e ao longo do ciclo de pastejo de 2012 na área experimental (São Miguel das Missões RS)	111
Figura 15. Densidade do solo no perfil de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema integrado soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo após o ciclo da soja (abril/maio de 2012).	114
Figura 16. Umidade volumétrica ao longo do ciclo de pastejo no perfil de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema integrado soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo.	116
Figura 17. Temperatura e potencial de água na folha da aveia: (a) manhã e (b) tarde, ao longo do ciclo do ciclo de pastejo, em um Latossolo Vermelho distroférico no sistema integrado soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo.....	121

1. INTRODUÇÃO GERAL

Recentemente, tem crescido a demanda por sistemas de produção de alimentos que alie as questões produtivas, sociais e ambientais. Esta tendência já vem sendo evidenciada pela adesão significativa do sistema de plantio direto (SPD) (Landers, 2001; Boddey et al., 2010). É inaceitável, por outro lado, propagar esse sistema de produção de alimentos preconizando o uso de monocultivos e baixa diversidade de espécies. Deve-se, à priori, compreender que o SPD é alicerçado na redução de preparo do solo, substituição de parte da energia mecânica pelo uso de herbicidas, rotação de culturas, cobertura permanente do solo (resíduos) e uso de semeadoras e maquinários adequados ao solo em questão (Cruz et al., 2001). Entretanto, diante das dificuldades na comercialização “pós porteira”, e das oscilações das *commodities*, a diversificação nos sistemas produtivos tem sido uma ferramenta de manejo útil para avanços de natureza produtiva e socioeconômica.

Sistemas integrados de produção agropecuária (SIPAs¹), como os de que integram culturas de grãos e pecuária, apresentam algumas peculiaridades quanto ao seu impacto nas propriedades físico-hídricas, químicas e biológicas do solo.

A complementaridade entre o pastejo e a agricultura possibilita melhorias na qualidade do solo, como aumento no teor de carbono orgânico e maior agregação do solo e ciclagem de nutrientes. Todavia, em função da

¹ Nesta tese assume-se a definição de termo e acrônimo propostos por Carvalho, P.C.F. et al. Definições e terminologias para Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. Revista Ciência Agronômica, 2014 (no prelo). O trabalho conclui: “Sugere-se que na literatura técnica se use o termo Integração Lavoura-Pecuária, e na literatura científica o termo Sistema Integrado de Produção Agropecuária. Os acrônimos em português seriam ILP e SIPA, respectivamente.

complexidade das relações, devido à inserção animal no sistema, avaliar o impacto de sistemas de produção integrados requer muitos avanços no entendimento dos processos que ocorrem no solo e nas plantas.

No SIPA, ocorrem constantes trocas de matéria e energia entre as plantas, os animais e a atmosfera, alterando uma gama de atributos e propriedades do solo, não consideradas quando os mesmos são abordados isoladamente. Nestes sistemas, além de haverem alterações na estrutura do solo pelo pisoteio animal, estes, tidos como elementos catalisadores no sistema solo-planta-atmosfera-máquina-animal (SPAMA), modificam as taxas e os fluxos dos processos sistêmicos, reciclando o material orgânico e determinando a dinâmica dos nutrientes entre os seus compartimentos. Os SIPAs, em função da diversidade de componentes ao longo do tempo, apresentam uma abrangência técnico-científica diferenciada.

A complexidade do funcionamento desse sistema (SPAMA) só pode ser entendida pela quebra de paradigmas, com abordagens que busquem aprofundamento no seu entendimento e no seu dinamismo. A evolução não deve ser somente de cunho científico, mas, também filosófico, pois se deve abster de uma visão cartesiana e se inserir na interdisciplinaridade buscando entender as relações não-lineares, que ocorrem por meio de processo de naturezas distintas (Vezzani & Mielniczuk, 2009). Neste nível de abordagem, é necessário focar na compreensão dos processos físico-hídrico, mecânicos, hidráulicos, bioquímicos e fisiológicos ao longo do tempo (Figura 1). Esta abordagem corrobora com a estratégia sugerida por Lal (2001) para suprir a crescente demanda por alimentos da população mundial, sem colocar em risco recursos hídricos e edáficos.

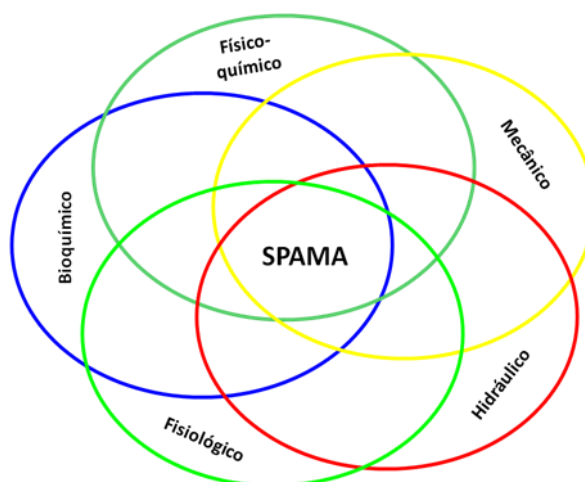


Figura 1. Relações de processos no sistema solo-planta-animal-máquina-atmosfera (SPAMA) em sistemas integrados de produção agropecuária.

Nesse nível de percepção, a água se destaca pela sua essencialidade em todos os processos que regem o equilíbrio em sistemas de produção de alimentos. Esta, não só rege as reações bioquímicas, físico-químicas e fisiológicas no SPAMA, como é componente essencial para o equilíbrio entre a demanda hídrica atmosférica e o crescimento das plantas. Há, então, uma superveniência da disponibilidade hídrica no solo sobre o processo de sequestro de carbono, visto como o maior gargalo para a sustentabilidade global. Ademais, a escassez mundial desse recurso natural faz indispensável inserir estudos hídricos nos sistemas de produção de alimentos. Porém, os processos físico-hídricos responsáveis pelo desenvolvimento das plantas dependem de trocas de energia que ocorrem no solo, um sistema aberto. Assim, o foco em soluções simplistas, diante de problemas sistêmicos se torna ineficaz (Cunha et al., 2012). Assim, abordagens que contemplem o solo, a planta, o animal e a atmosfera, podem auxiliar para avanços técnicos e científicos relacionados ao manejo de SIPAs e a manutenção de seu equilíbrio no longo prazo.

Diante do exposto, propõe-se como temática desta pesquisa o estudo do “Intervalo hídrico ótimo e estado hídrico das plantas em sistema integrado de produção agrícola e pecuária”. Assim, pretende-se avaliar a eficiência do IHO e de indicadores fisiológicos como ferramentas que auxiliem no entendimento quanto às repostas de plantas cultivadas em sistema integrado de produção agropecuária de longa duração.

2. CAPÍTULO I. ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO

2.1. Equilíbrio em sistemas de produção de alimentos

Partindo do pressuposto que o termo sustentabilidade, na agricultura, vem sendo utilizado inadequadamente, torna-se necessário avaliar o sistema de produção de alimentos pelo seu equilíbrio com o meio ambiente, obtido pela eficiência nas trocas energéticas no SPAMA.

O termo sustentabilidade consiste na capacidade de um sistema em continuar existindo - “sustentare” (Cunha et al., 2012), representando respostas agregadas (Hansen, 1996). Equilíbrio, por sua vez, originária do latim *aequilibrare* formada de *aequi*, “igual” e *librare*, “oscilar”, significando uma posição na qual os fluxos (direção e intensidade) de entradas e saídas se equiparam (Houaiss, 2012).

Se o fluxo que alimenta um sistema é constante, ou seja, a magnitude e a taxa de energia e matéria não se alteram, o sistema se auto-organiza num estado de ordem com determinado nível de complexidade, que permanece estável enquanto durar a constância do fluxo (Vezzani & Mielniczuk, 2011). Segundo estes autores, a complexidade do sistema é caracterizada pela quantidade de energia e de matéria retida e pelo número de elementos e relações que o compõe ao longo do tempo. Neste contexto, a complexidade e a pertinência na busca por equilíbrio aumentam quando se passa de um sistema de produção de alimentos simples (puros) para um integrado.

Assim, busca-se o manejo adequado do sistema de produção para haver equilíbrio no *continuum* SPAMA, permitindo, com o tempo, a evolução para estados de ordem mais elevados. No entanto, não se pode olvidar que, na

medida em que o sistema evolui, torna-se mais sensível, instável e dependente do fluxo energético (Vezzani & Mielniczuk, 2011). Sendo assim, equilíbrio, talvez seja, em SIPAs, a palavra-chave para que se possa suprir a demanda mundial de alimentos e, concomitantemente, preservar e recuperar os recursos naturais.

O impacto positivo de SIPAs no SPAMA, no longo prazo, tem respondido às indagações a despeito da possível contraposição entre viabilidade técnico-econômica e equilíbrio na produção de alimentos. A importância da interação entre plantas e animais é de cunho filosófico e permanece como o cerne da biodinâmica (Koepf, 1981) e do manejo holístico dos recursos naturais (Savory, 1988).

A biodinâmica pode ser considerada como uma das primeiras tentativas na reforma dos sistemas de produção de alimentos no século XX, iniciado pelo alemão Rudolf Steiner, e tem como alicerce a crença que sistemas integrados de produção agropecuária sejam imprescindíveis para se caracterizar a fertilidade do solo.

O manejo adequado de SIPAs parece, perante o contexto atual, ser a saída pela busca do equilíbrio em um sistema que tende ao não-equilíbrio. No longo prazo, quando tal manejo é praticado, se torna palpável atingir a qualidade, na qual, segundo Doran & Parkin (1994), “o solo tem capacidade de sustentar a produtividade de plantas e animais, de manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens”.

2.2. Sistemas de produção integrada de alimentos

A estimativa mundial de insegurança alimentar abrange entre 825 milhões (Lobell et al., 2008) e 850 milhões de pessoas (Borlaug, 2007). Afora as desigualdades sociais, prejudicando o poder de compra de alimento de uma grande fatia da população, englobando políticas sócio-econômicas ineficientes e perturbadas, melhorias nos sistemas de manejo de produção também são indispensáveis à adaptação das mudanças climáticas para satisfazer a crescente demanda por alimentos (Lal, 2009). Considerando somente o continente da América do Sul, tem-se o número expressivo de 60 milhões de

habitantes na condição de pobreza extrema (Borlaug, 2007). Assim, aumenta a busca por sistemas de produção mais eficientes que possibilitem a permanência de produtores no campo (equilíbrio socioeconômico) e forneçam alimento para a população, respeitando os recursos naturais (equilíbrio produtivo).

No Rio Grande do Sul, existe uma área cultivada em torno de seis milhões e meio de hectares com culturas de grãos no período de verão (CONAB, 2012). Desse total, menos de um milhão de hectares são utilizados para a produção de grãos de cereais de inverno. Surge, então, a necessidade de se encontrar sistemas de produção de alimentos que viabilizem o retorno econômico, fator indispensável pela permanência dos produtores na atividade rural. O SIPA com diversificação de atividades (pecuária e grãos) é, neste contexto, uma opção interessante.

Com espécies aptas ao pastejo e as condições edafoclimáticas da região subtropical, como a aveia preta, o azevém e a ervilhaca, o inverno se torna uma época propícia à atividade pecuária. O cultivo de forrageiras nessa estação cumpre com alguns dos requisitos básicos do SPD, que demanda mobilização mínima do solo, uso de plantas de cobertura e rotação de culturas. A bifuncionalidade das culturas de cobertura no SIPA, como componente integral do sistema e de valor econômico (pastejo), é a saída para expansão da adesão desses sistemas pelos produtores rurais (Gardner & Faulkner, 2011).

Os SIPAs são sistemas bastante flexíveis, permitindo o direcionamento de ação, que resulta em ganhos econômicos e elevado potencial de adesão (Franzluebbers, 2007; Sulc & Tracy, 2007; Franzluebbers & Stuedemann, 2007). A rotação pastagem-culturas de grãos torna-se, segundo Cassol (2003), uma das estratégias mais promissoras para desenvolver sistemas de produção menos intensivos no uso de insumos e, por sua vez, mais sustentáveis no tempo.

No longo prazo, a adoção do SIPA pode causar alterações no SPAMA, influenciando seus atributos físicos, químicos e biológicos (Carvalho et al., 2010), principalmente por viabilizar incrementos nos estoques de matéria orgânica no solo. Com a utilização da pastagem por vários meses e o não revolvimento do solo, há acúmulo de matéria orgânica, melhorando, assim, a sua qualidade (Souza et al., 2009). Nestas condições, tanto as propriedades

estáticas como as dinâmicas são alteradas, em que duas se destacam, a resistência e a resiliência (Franzluebbers, 2008).

Com a variação nas intensidades de pastejo, ocorrem diferentes taxas de deposição de resíduos, influenciando no acúmulo de carbono orgânico no solo, afetando a agregação do mesmo (Souza et al., 2009) e a dinâmica do fluxo hídrico. A maior deposição de resíduos influencia a redistribuição da energia advinda do contato máquina-solo (Brandt, 2005; Braida et al., 2006), interferindo na sua compactabilidade.

A complementaridade das raízes nos SIPAs é outro fator notório de exploração. As raízes de gramíneas e de leguminosas possuem morfologia e fenologia distintas, podendo resultar em maior eficiência no processo de exploração do solo (água e nutrientes). Gera-se, portanto, no SPAMA, fluxos e processos além dos utilizados em sistemas puros, focados em parâmetros isolados. A maior presença de bioporos ou “megaporos” aliado à continuidade de poros em sistemas com elevada adição de resíduos é um indicativo da unicidade desse sistema.

2.3. A água e sua importância em sistemas de produção de alimentos

No início deste século o mundo possuía 1.5×10^9 hectares de área agrícola, sendo 74% de produção em sequeiro, perfazendo aproximadamente 65% da produção mundial de alimentos (Biradar et al., 2009). Houve um aumento significativo das áreas irrigadas que, atualmente, são responsáveis por 87% do consumo hídrico mundial (Shiklomanov, 1999). De acordo com relatório do desenvolvimento mundial de 2008 (World Bank, 2008), há pouco espaço para melhorias nessas áreas. A estimativa, para 2025, da relação entre retirada e disponibilidade hídrica mundial, alerta que a pressão demográfica e o desenvolvimento econômico inibem a redução nesta razão, levando-se em conta que a produção de alimentos contribui para 56% dessa retirada (Alcamo et al., 2003). Na era “antropocêntrica”, a interferência humana nos processos naturais e a lenta taxa de recarga dos aquíferos torna essa fonte em “água fóssil” (Oki & Kanae, 2006).

Diante de sua essencialidade, da crescente demanda por alimentos (Lal, 2009), das mudanças climáticas que devem acelerar os ciclos hidrológicos (Oki & Kanae, 2006) e do elevado consumo de água em sistemas irrigados (Döll, 2008; Rockström et al., 2007), a otimização da eficiência no uso da água (EUA) em sistemas de sequeiros é o maior gargalo enfrentado pelos produtores rurais. De acordo com Parr et al. (1990), no futuro, o cultivo em sequeiro permanecerá como o “carro chefe” na produção de alimentos. É animador, por outro lado, verificar que, por meio de simulação, Siebert & Döll (2010) demonstraram haver uma redução de apenas 20% na produção mundial de grãos quando da ausência de sistemas irrigados e mediante manejos de sistemas de produção que permitam maior eficiência do uso da água.

O aumento nos rendimentos de grãos e de carne em áreas de sequeiro é o ponto-chave para suprir a demanda mundial por alimentos (Passioura & Angus, 2010). Um exemplo dessa condição é o estado do Rio Grande do Sul, no qual áreas de sequeiro, devido à irregularidade das chuvas, têm apresentado rendimentos irregulares (CONAB, 2012), levando a motivação por conhecimentos relacionados à análise integrada do sistema solo-planta-atmosfera (Martorano, 2007).

A água é um recurso que circula naturalmente, sendo constantemente recarregada no solo e nos mananciais hídricos pelas chuvas. Assim, apesar da utilidade de seus estoques naturais e artificiais, para aumentar sua disponibilidade para sociedade, o fluxo hídrico deve ser o principal foco das abordagens pertinentes ao balanço da água (Oki & Kanae, 2006). Para satisfazer a demanda de alimentos de 9 bilhões de habitantes, a proporção de fluxo de vapor hídrico no ciclo hidrológico global continuará aumentando nos próximos 50 anos (Gordon et al., 2005).

Nesse âmbito, há uma relação estreita entre a escassez alimentar e hídrica em função da elevada demanda evapotranspiratória das plantas, apresentando valores entre 1.000 e 3.000 m³ de água por tonelada de matéria seca de grãos produzidos (Rockström, 2003). A conversão de áreas nativas em áreas agrícolas tem alterado a biosfera e o ciclo hidrológico, extraindo água da superfície e do lençol freático para suprir as novas demandas (Ellis & Ramankutty, 2008).

O fracionamento da água sugerido por Rockström et al. (2007) tem tornado possível avanços no entendimento da utilização de recursos hídricos para produção de alimentos. De acordo com esses autores, a água pode ser dividida em dois compartimentos, o azul e o verde. A água azul é representada pelos recursos armazenados em rios, lagos e no lençol freático, sendo controlado pelos processos físicos. Quanto à água verde, esta representa a fração influenciada pelos processos biológicos, como a evapotranspiratória e a água armazenada no solo (umidade do solo).

O particionamento da água no ciclo hidrológico permite, em maior grau de detalhamento, entender o balanço hídrico, como, por exemplo, a razão entre retiradas e disponibilidade hídrica (R/D) (Alcamo et al., 2003). Com avanços no fracionamento hídrico, informações em nível de microbacia, como a relação entre R/D e a disponibilidade de água por habitante em bacias hidrográficas (áreas de escassez hídrica) (Alcamo et al., 1997), têm sido apuradas. De acordo com Siebert & Döll (2010), a importância do discernimento entre as fontes hídricas e sua relação com a produção de alimentos é fundamental para melhorias nas análises do impacto antrópico (pelo padrão de consumo alimentar) na disponibilidade hídrica.

O consumo da água azul, sendo quantificado pela evapotranspiração de áreas irrigadas, exaure os reservatórios hídricos, pela baixa EUA nesses sistemas (FAO, 2010). Deve, então, haver uma mudança na filosofia da utilização dos recursos hídricos, com foco principal na “colheita hídrica” da fração verde da água, pelo aumento na EUA pluvial (Hamdy, 2008). Segundo este autor, da quantidade total de água pluvial, 65% se encontra armazenada no solo para ser transformada em biomassa de florestas, pastagens, várzeas e áreas agricultáveis. Desta maneira, o potencial dessa fração, também tida como “água invisível”, tem sido negligenciado. O que se tem presenciado é um aproveitamento aquém do necessário no uso da água do solo com elevadas perdas por evaporação (Wallace, 1991) e escoamento superficial (Casenave & Valentine, 1992). Tais perdas constituem um fluxo não produtivo de vapor de água. Na ausência dessas perdas, a média de rendimento de grãos, em regiões de maior déficit hídrico, passaria de 1 para 3 Mg ha⁻¹ e, se não houvessem perdas por água percolada, para 5 t ha⁻¹ (Rockström & Falkenmark, 2000).

Quando transferimos a água do fluxo azul (evaporação) para o fluxo verde (transpiração), não há, então, limitações hidrológicas para se duplicar os níveis de rendimento. A magnitude do impacto do manejo de sistemas de produção, envolvendo produtores e políticas de governança, nos recursos hídricos, foi abordada por Alcamo & Henrichs (2002). Pelo uso de simulação, esses autores verificaram que regiões classificadas como zona de risco em determinado cenário deixariam essa zona mediante alterações de cunho técnico-político. No entanto, o aprofundamento no tocante a pressão populacional na escassez hídrica mundial é laborioso e moroso, visto a dificuldade de obtenção de bons indicadores para quantificar o estresse hídrico (Menzel & Matovelle, 2010). A implementação de conceitos inadequados, errôneos ou mal aplicados, pode acarretar em problemas no manejo dos recursos hídricos (Seckler et al., 2003).

Dentre as tentativas de avaliar o consumo de água na produção de alimentos, dois índices têm sido bastante utilizados; a eficiência de utilização de água (EUA) e a produtividade hídrica, a “water productivity” (PH). O primeiro é um índice comum utilizado nas ciências agrárias para avaliar a eficiência de genótipos, espécies e manejos de solo na utilização da água, sendo definido pela razão entre o rendimento por área/água utilizada (Gregory et al., 2000). Levando em conta os componentes do sistema hídrico, a EUA pode ser expressa da seguinte maneira: $EUA = (N/T) [1+(E_s+R+D)/T]$, onde; N = produção de biomassa, T = transpiração, E_s = evaporação do solo, R = escoamento superficial e D = água percolada abaixo da zona radicular (Gregory, 1989). A partir dessa equação, se torna notório que o aumento da EUA pode ser obtido por dois caminhos; aumentando a razão N/T ou maximizando T, pela redução das demais perdas no sistema (conservação de água). Ambos os caminhos passam pela decisão da escolha do sistema de produção e a adequação de seu manejo.

Êxito no aumento da EUA tem sido obtido pelas alterações nas práticas de manejo (intensificação de cultivos) incluindo: controle de plantas daninhas, cobertura verde, alterações na população de plantas e manejo da fertilização (Wallace & Batchelor, 1997). Sistemas de produção que preconizam a cobertura permanente do solo, como o SIPA, favorecem a redução da E_s pelos seguintes mecanismos: 1) a redução da radiação líquida absorvida pela

superfície do solo, 2) o aumento da resistência aerodinâmica à transferência de vapor de água da superfície do solo pelo umedecimento do ar promovido pelo dossel foliar e, 3) a redução da condutividade hidráulica do solo pela absorção de água de sua superfície, restringindo o fluxo ascendente de água pela matriz do solo.

A PH é definida pelo volume de fluxo de vapor por tonelada de matéria seca consumível ($\text{m}^3 \text{Mg}^{-1}$) (Rockström et al., 2007). Analisando o consumo de água para produzir componentes da dieta humana, Rockström et al. (1999) observaram disparidade nas exigências hídricas. Destaca-se a disparidade entre o consumo na produção de vegetais de $0,5 \text{ m}^3$ para gerar 1.000 kcal ao de 4 m^3 para produção de mesma energia via carne (produtos animais). No entanto, o conhecimento sobre o impacto do pastejo nos recursos hídricos, especialmente em países em desenvolvimento, é limitado (Descheemaeker et al., 2010; Peden et al., 2009). O manejo adequado do pastejo favorecendo a PH pode acarretar em melhorias na EUA (Peden et al., 2007). O pastejo moderado (ajuste da carga animal que permita ao pasto área foliar remanescente) acelera a taxa de crescimento das forrageiras, maximizando a EUA (Myers, 1969). Neste contexto, Mekonnen et al. (2011) destacam que a PH da pecuária tem uma correlação positiva com a produtividade animal (pressão de pastejo).

O manejo do sistema de produção que possibilita aumentar os rendimentos em condições de estresse hídrico deve buscar: aumentar o suprimento de água para as culturas, aumentar o seu uso por transpiração, maximizar a EUA (biomassa/água transpirada) e aumentar o índice de colheita (rendimento de grãos/biomassa) (Passioura & Angus, 2010). Segundo estes autores, a água residual (AR), acumulada no solo durante um período de pousio ou que não foi utilizada pelo cultivo anterior, tem contribuição significativa para aumentar a PH. Esses autores ainda enfatizam que a quantidade de AR após um ciclo de pastejo (forragem perene) pode estar abaixo do limite mínimo demandado pela cultura de grãos subsequente. Embora exista a possibilidade de uma depleção hídrica após um cultivo (Ritchie, 1981), o manejo aplicado ao sistema de produção é que rege a quantidade de AR.

A variabilidade da AR em sistemas com pastejo resulta do manejo dos animais e do tipo de forrageira. Forrageiras anuais são menos eficientes na extração de água do solo, ao passo que as perenes são extratoras mais eficientes, devido ao sistema radicular mais amplo (Angus et al., 2001). Diante dessas condições, a dinâmica da água no SPAMA, se torna intrigante. A relação não linear entre PH e o rendimento apresentada por Rockström et al. (2007), indica que sistemas de produção que possibilitam trabalhar com rendimentos mais elevados, resultam em maior EUA. No longo prazo, a diversificação de atividades, como em SIPA, permite aumentar a EUA (Tanaka et al., 2005) e, conseqüentemente, a PH (Descheemaeker et al., 2010). A importância de SIPAs perante as alterações climáticas, principalmente relacionados ao equilíbrio hídrico, foi ressaltada por Thornton et al. (2009).

Além da conjuntura de comportamentos antes relatados, o destaque na pauta de exportação do setor agropecuário brasileiro culmina para que o Brasil se enquadre como grande “exportador” de água (Carmo et al., 2007). Recorrendo ao conceito de “água virtual”, cunhado por Allan (1998), que diz respeito ao comércio indireto de água embutido nas *commodities* agrícolas enquanto matéria-prima intrínseca destas, o Brasil exportou, em 2005, mais de 87 bilhões de m³ de água. A problemática aumenta considerando o incremento vertiginoso nas produtividades das *commodities* exportadas de 2005 a 2010 (CONAB, 2010).

A elevada demanda hídrica para a produção de carne em sistemas confinados ou semi-confinados (a pasto recebendo ração) é ressaltada por Pimentel (2004). Este autor chama à atenção para a quantidade de soja destinada à ração bovina que, embora rentável em termos econômicos, não seja o mais adequado em termos de eficiência hídrica. O pastejo, perante tais condições, em SIPA, pode ser uma ferramenta útil para contornar esse gargalo. Desta forma, busca-se sistemas de produção sustentados pela filosofia de “grão por gota” (crop per drop) (Molden et al., 2003; CSA, 2008) e “proteína por gota” em relação a pecuária de corte.

2.4. Disponibilidade hídrica

A disponibilidade de água no solo (fonte verde) é o fator mais restritivo para que os processos relacionados ao desenvolvimento das plantas ocorram. Embora este assunto já tenha sido bem abordado na literatura mundial, ainda persistem gargalos obstruindo avanços no seu entendimento. Dentre as dificuldades enfrentadas, se destacam a quantificação da água disponível (AD) e a profundidade e intensidade de extração pelas diferentes espécies (Reid et al., 1984).

O problema da definição quanto aos limites de AD foi explorado por Carlesso (1995). Tradicionalmente, a AD é obtida pela diferença entre a quantidade de água no solo na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP). A CC se refere ao conteúdo de água avaliado nos potenciais de -0,03 ou -0,01 MPa e o PMP de -1,5 MPa.

De acordo com Andrade & Stone (2011), a determinação da tensão que governa a capacidade de campo é, igualmente, motivo de inúmeros trabalhos, existindo divergências quanto a utilização da faixa da tensão matricial de água no solo entre 10 kPa e 33 kPa. Desta forma, Reichardt (1988) postularam que a capacidade de campo para solos tropicais corresponderia a tensões variando de 6 a 10 kPa.

O limite com relação ao PMP se refere à capacidade distinta das espécies na extração de água (Tolk, 2003). Ademais, nesse potencial, esta extração de água pode apresentar erros na determinação do conteúdo de água (Gardner & Ehling, 1963). Com relação ao limite superior, a CC, o principal argumento é de que não há um valor fixo, estático, pois a drenagem do solo é um processo de fluxo contínuo e dinâmico que não cessa (Reichardt, 1988; Kirkham, 2005). O efeito da granulometria na estimativa da CC foi observado por Ruiz et al. (2003), uma vez que a desuniformidade entre os processos de umedecimento e secagem (Souza & Reichardt, 1996) é influenciada por esse atributo do solo.

O fenômeno de histerese, que modifica o conteúdo de água do solo, para o mesmo potencial, quando confrontadas situações de umedecimento ou secagem no perfil de um solo (Taylor & Aschroft, 1972), deve ser também contemplado. No processo de umedecimento, o fluxo hídrico é controlado por

forças de capilaridade, ao passo que no processo de secagem, são o vapor e fenômenos de adsorção específica que predominam (Horton et al., 2009).

Baseando na equação de Darcy-Buckingham, que rege o movimento de água em solos não saturados, Reichardt (1988) alerta que, para determinar a CC, dever-se-ia levar em conta a condutividade hidráulica, visto ser uma propriedade dinâmica do solo. Segundo esse autor, sendo a CC um processo dinâmico, e não uma característica intrínseca do solo, faz-se necessário estabelecer quando o fluxo de drenagem se torna desprezível e, ainda, a definição do mesmo. No entanto, existem dificuldades para estimar essa propriedade (Timlin et al., 2004).

Nessa linha de pensamento, Groenvelt et al. (2001) sugerem um índice denominado capacidade integral hídrica (integral water capacity), no qual se contabiliza a condutividade hidráulica. Segundo esses autores, o sistema solo é regido por fluxos graduais, com curvas de dessorção e absorção de água diferentes (histerese), havendo uma lacuna entre mecanismos fisiológicos de planta e físico-químicos do solo quando avaliado por atributos empíricos.

A dificuldade de estimar o potencial hídrico no campo (Ritchie, 1981) e de discernir água de constituição e água do solo, vem a ser uma barreira para o entendimento dos fluxos hídricos. A variabilidade, em função da distribuição desigual da água do solo, traz incertezas quanto a sua disponibilidade, visto que em condições de campo tais incertezas aumentam pelo crescimento desigual de plantas, diferentes características de infiltração, variação da estrutura, textura e relevo (Ritchie, 1981). Diante de tais entraves, este autor sugere a substituição do conceito de AD pelo da água extraível (AE).

A AE é definida para uma combinação particular solo-cultura pela diferença entre o conteúdo de água no perfil do solo após a ocorrência da drenagem (denominado de limite superior), a partir de um umedecimento completo, e o conteúdo de água depois que plantas desenvolvidas normalmente (ausência de estresse hídrico) tenham extraído toda a água possível do perfil (denominado limite inferior). Embora existam problemas na determinação da AE, Carlesso (1995) ressalta ser um índice que melhor representa a AD. Na tentativa de obter um índice de liberação de água a partir da relação entre a quantidade de água liberada pelo solo e a energia na qual a

mesma estava sendo retirada, Narjary et al. (2012) relataram as dificuldades e incertezas relacionadas à determinação da AD.

A compreensão dos mecanismos que controlam o processo de secagem do solo é indispensável ao abordar a estabilidade de sua estrutura (Semmel et al., 1990) e, conseqüentemente, a disponibilidade hídrica (Czarnes et al., 2000). Fatores como a arquitetura radicular (Garrigues et al., 2006), o ambiente da interface solo-raiz (Gregory, 2006) e a profundidade de extração (Durand et al., 2010) influenciam esse processo. Com relação ao efeito radicular no processo de secagem, é indispensável o discernimento entre a profundidade aparente, referente à presença de raízes, e a profundidade efetiva, representada pelas raízes que extraem água (Reid et al., 1984). Carlesso (1995) aponta o impacto da demanda evaporativa na frente de extração de água. A profundidade final de extração hídrica pode ser até 40 cm mais profunda que a profundidade total radicular (Parker et al., 1989), havendo, desta maneira, o fenômeno denominado de ascensão hidráulica.

A taxa de avanço de extração de água é menor em solo ocupado por leguminosas (C3) do que por gramíneas, aumentando a EUA em sistemas integrados de produção que também utilizam gramíneas (C4). O grau de desenvolvimento radicular afeta sua condutividade hidráulica, uma vez que raízes jovens, com xilema ainda em desenvolvimento, apresentam menor eficiência no processo de absorção de água (Garrigues et al., 2006).

2.5. A disponibilidade hídrica em sistemas integrados de produção

2.5.1 O pastejo e suas implicações na dinâmica hídrica

A inserção de animais em SIPA aumenta e torna os questionamentos relacionados à AD mais intrigantes, pelas alterações na dinâmica das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo com o processo de pastejo no longo prazo (Carvalho et al., 2010).

A intensidade moderada e leve de pastejo aumenta os estoques e as frações de carbono orgânico no solo (Souza et al., 2010). O acúmulo de resíduos (liteira) em superfície protege o solo dos efeitos do pisoteio animal corroborando para que não haja perdas substanciais na qualidade solo em

SIPAs (Franzluebbers & Stuedemann, 2008). De acordo com Vogelmann et al. (2010), devido a sua natureza físico-química (radicais de caráter hidrofóbico e/ou hidrofílico), a fração particulada do carbono do solo tem maior influência na retenção de água do que o teor total. A quantidade de forragem ofertada altera as taxas de infiltração e disponibilidade de água no solo (Bertol et al., 2000), influenciando na sua susceptibilidade a processos erosivos (Gijssman & Thomas, 1996).

O resíduo da pastagem, em SIPA, se torna um diferencial quanto ao armazenamento de água no solo (Franzluebbers et al., 1995). Segundo estes autores, sistemas conservacionistas com cultivos de baixa produção de resíduo (como a soja) resultam em menor armazenamento de água. A cobertura do solo tem como principal função no fluxo hídrico, a redução nas perdas hídricas por evaporação (Ritchie, 1981). Dalmago (2004) destaca a complexidade no processo de extração hídrica do solo pela ocorrência simultânea dos processos de evaporação da redistribuição da água no solo e a influência do tempo de secagem. Deseja-se maximizar a eficiência transpiratória mediante a troca mais eficiente de água para produzir biomassa e, para tal, o aproveitamento da AR resulta da redução de perdas por evaporação (Passioura & Angus, 2010). A evaporação pode perfazer até 75% da evapotranspiração e apresenta elevada variabilidade (Gregory, 1991).

O processo de evaporação ocorre no sistema solo em duas etapas: na primeira, a taxa evaporativa é determinada pela radiação líquida e, na segunda, à medida que o solo seca a sua capacidade de conduzir água (condutividade hidráulica) até a superfície é que rege o fluxo (Suleiman & Ritchie, 1981). Na segunda etapa, a quantidade de água que é perdida por evaporação, em um solo descoberto, resulta da raiz quadrada do tempo, sendo um processo lento, que não atinge elevadas profundidades no perfil do solo.

Afora o mencionado, o manejo do período entre ciclos de cultivo em SIPA é crítica no que diz respeito a EUA do sistema. O controle adequado do momento de entrada de máquinas e animas nas áreas de lavoura em SIPA com SPD, permite que o sistema seja mais eficiente no armazenamento de água (Albuquerque et al., 2001). A ferramenta mais eficiente na redução das perdas por evaporação, pelo menos em um período de tempo curto (algumas

semanas), é a cobertura de solo remanescente do cultivo prévio (O'leary & Connor, 1997; Verburg et al., 2004).

Percebe-se que o sistema SPAMA é limitado por energia, inclusive nos processos de umedecimento e secagem do solo (Gregory et al., 2000). Segundo estes autores, além dessa cobertura, a textura também influencia no processo de evaporação, havendo menores perdas por esse processo em solos mais argilosos. Na medida em que se mantêm as camadas superficiais do solo umedecidas, aumenta-se a extração de água, reduzindo as perdas por evaporação. Por outro lado, tais condições também podem favorecer perdas por evaporação. Assim, remanescem indagações pertinentes à quantidade, ao tipo e à configuração dos resíduos em sistemas conservacionistas e seu impacto na dinâmica de água (Verburg et al., 2012).

Atualmente, existem informações suficientes para concluir que, com o manejo adequado dos animais, no longo prazo, emerge uma estrutura de solo mais organizada, na qual o grau de sua resistência aos fluxos de gases e de fluidos representa sua qualidade (Hallett et al., 2003).

Surge, então, a necessidade de entender como essa organização se insere no conceito mais amplo de “fertilidade” proposto por Nicolodi (2007). De acordo com esta autora, a fertilidade é uma propriedade emergente do processo de auto-organização do sistema solo, resultante de interação entre as condições físicas, químicas e biológicas, e que possibilita o desenvolvimento e a produtividade das plantas. Todavia, o balanço positivo energético é o único caminho para atingir tais patamares (Addiscott, 1995) onde, ao longo do tempo, há uma predominância dos processos biológicos em relação aos mecânicos (Dalmago, 2004).

2.5.2. O fenômeno da redistribuição de água no solo

O desenvolvimento das plantas, quando pastejadas, é modificado, tanto na parte aérea como nas raízes. Com relação ao sistema radicular, sua influência na estrutura, no ciclo e na manutenção da água no solo (Angers & Caron, 1998) é crítica para a avaliação dos impactos oriundos do pastejo em sistemas integrados.

Em países em desenvolvimento e, particularmente, nas regiões de clima subtropical, como o Estado do Rio Grande do Sul, são esperados aumentos na ocorrência de períodos secos que acarretarão em perdas de até 11% de áreas de sequeiro até o ano de 2080 (UNEP, 2007). Tal fato torna as melhorias no processo de extração hídrica um assunto pertinente e urgente.

Mesmo sendo alvo de inúmeros estudos, há uma abordagem pouco aprofundada quanto ao destino da água no SPAMA, principalmente, no tocante a sistemas de produção de alimentos. A água absorvida pelas plantas pode ser expelida pelas mesmas em um processo de refluxo que ocorre nas raízes quando presentes em camadas do solo com baixa disponibilidade hídrica, ao passo que, em regiões de maior disponibilidade, as raízes da mesma planta apenas absorvem a água do solo. Este fenômeno, segundo Burgess et al. (1998), é denominado de redistribuição hídrica (RH). A transferência de água das camadas mais profundas do solo para a superfície seca é denominada de ascensão hídrica (Richards & Caldwell, 1987).

Embora esse assunto se insira na demanda dos processos agrícolas produtivos, as abordagens, até o presente momento têm focado meramente no contexto ecológico (Caldwell et al., 1998). No entanto, os poucos estudos que abordam plantas cultivadas, obtiveram resultados de grande valia para o entendimento do cultivo em áreas de sequeiro em condições de estresse hídrico. Tais resultados eram esperados, uma vez que a água é o fator mais limitante na fixação de carbono (C) e, conseqüentemente, na produção primária líquida global (Schulze, 1986). Poucas pesquisas avaliaram o fenômeno da RH no campo e estudos em SIPAs são ainda mais escassos.

Dentre os poucos estudos com pastagem, aqueles realizados por Skinner (2004) e Skinner et al. (2004) apresentaram benefícios da inserção de uma leguminosa perene (*Chicorium intybus*) em sistemas consorciados. Levando-se em conta que os sistemas de irrigação utilizados são de baixa eficiência e elevado custo e ainda contribuem para um acréscimo substancial na utilização de água para irrigação, resultando em retiradas de aproximadamente 70% das reservas dos mananciais mundiais (UNEP, 2007), estudos de plantas que realizem RH tem relevância para a pesquisa mundial.

Entretanto, no Brasil, nos deparamos com poucas abordagens do RH em sistemas de produção com forrageiras (Oliveira et al., 2005a; Oliveira et

al., 2005b). Uma vez que a amplitude de movimento de pêndulo (elongação radicular) está diretamente associada à disponibilidade hídrica no solo (Bengough et al., 2011) e que raízes de plantas anuais e forrageiras possuem arquiteturas distintas, a dinâmica da água em SIPAs é um assunto a ser aprofundado. Desta forma, existe a possibilidade de ocorrer um particionamento no uso da água em nesses sistemas, aumentando a PH e EUA (Mekonnen et al., 2011).

2.6. Estado hídrico das plantas

Os fisiologistas distinguem dois tipos de água nas plantas: a apoplástica, localizada externamente à membrana plasmática e relativamente livre para se movimentar das raízes até as folhas pelo xilema, e a simplástica abrigada dentro do protoplasma celular (Rodríguez-Iturbe & Porporato, 2004). A dificuldade em mensurar o estado hídrico das plantas no *continuum* solo-planta-atmosfera advém da complexidade dos processos que ocorrem na interface solo-raiz (Chapman et al., 2012), dentre os quais se destacam os mecanismos de absorção de água, envolvendo a resistividade e a condutividade hidráulica (Levin et al., 2007). Torna-se, então, relevante o entendimento e exploração das condições do solo que possibilitem maior EUA pelas plantas. Para tal, destaca-se a utilização de parâmetros fisiológicos das plantas como ferramentas na avaliação da percepção das mesmas das condições hídricas do solo e da atmosfera, dentro os quais se destacam o potencial hídrico da folha (Ψ_{wf}) e a temperatura da folha (TF) (Kirkham, 2005).

2.6.1. Potencial hídrico da planta

O potencial hídrico (Ψ_w) de um tecido vegetal é tido como a pressão hidrostática medida pela tensão de água no xilema, obtido pela diferença entre a energia livre por volume entre a água dentro e fora da planta (Kirkham, 2005). De acordo com Scholander et al. (1964), o Ψ_w é o produto do equilíbrio entre a pressão hidrostática e o potencial osmótico em um sistema elástico e semipermeável. Para mensurar o potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}), tem-se utilizado uma câmara de pressão denominada de câmara de Scholander (Scholander,

1962). Esta metodologia apresenta boa precisão na obtenção desses dados, correlacionando-se bem com a metodologia do psicrômetro (Boyer & Ghorashy, 1971).

Devido à sua praticidade, valores de Ψ_{wf} têm sido obtidos no campo, e auxiliam na descrição do comportamento estomático e estado hídrico das plantas (Jarvis, 1976). Este autor preconiza que o Ψ_{wf} pode auxiliar na interpretação de variações na taxa fotossintética das plantas e na transpiração foliar. Porém, é necessário que haja um monitoramento com medições diu-noturnas ao longo do ciclo das culturas para tais abordagens.

Na interpretação do Ψ_{wf} , três fatores devem ser considerados: o suprimento de água pelo solo, a demanda atmosférica (DA) e os mecanismos de controle da planta (Elfvig et al., 1972). Existem dois períodos críticos para avaliações do Ψ_{wf} : ao meio-dia (Ψ_{wfm}) e antecedendo o nascer do sol, tido como potencial de base (Ψ_{wfb}). As medidas realizadas nesses dois períodos se fazem indispensáveis devido às espécies de cultivo comercial, como a soja e o milho, apresentarem tanto comportamento iso-hídrico (em que o Ψ_f permanece elevado) como aniso-hídrico (em que diminui acentuadamente nas horas mais quentes do dia) (Bergonci et al., 2000). Corroborando com o exposto acima, a nível celular, existem três fatores regendo o fluxo hídrico nas plantas: i) os ciclos diu-noturnos ii) os processos de expansão e contração celular e iii) a dependência do ajuste osmótico (Kirkham, 2005).

A importância do primeiro (Ψ_{wfm}) está no fato de ser medido no período do dia no qual a planta se encontra em máxima condição de estresse hídrico, pelo elevado déficit de pressão de vapor (DPV), com estômatos abertos e transpiração máxima (Jones, 2014). Com relação ao Ψ_{wfb} , este pode refletir a condição hídrica tanto do solo quanto da raiz, dependendo da densidade e da profundidade radicular (Reich & Hinckley, 1989). Segundo estes autores, o controle estomático, ao amanhecer e ao entardecer não é inerente à própria folha, porém depende de todos os processos envolvidos na dinâmica da água no SPAMA. O fenômeno de histerese diu-noturna no Ψ_{wf} das plantas foi verificado pela relação desse parâmetro com o DPV (Jarvis, 1976).

O Ψ_{wf} tem sido utilizado em trabalhos com diferentes finalidades, embora, sempre, buscando aprofundamento quanto ao estado hídrico das plantas em resposta a condições edafoclimáticas. A relação entre o potencial de

água no solo, o Ψ_{wf} e o ângulo das folhas de soja foi avaliada por Rosa et al. (1991), que observaram maior associação das trocas gasosas e ângulo das folhas com as condições hídricas do solo do que com o Ψ_{wf} . De acordo com Oosterhuis et al. (1985), a partir de Ψ_{wf} de -1,4 MPa já ocorre uma reorientação foliar nas plantas de soja, representando um valor crítico para o estado hídrico da planta.

O Ψ_{wf} tem apresentado relação com a taxa fotossintética. Na cultura da soja (C3), essa taxa foi afetada a partir do valor de -1,1 MPa, apresentando menor sensibilidade que o milho (C4) (Boyer, 1970a; Boyer, 1970b). Este autor chama a atenção para a maior taxa fotossintética de plantas C4, ao passo que cautela deve ser tomada quando avaliando a resistência aos períodos com déficit hídrico. A diferença entre o efluxo fotorespiratório de plantas C3 e C4 foi também ressaltada por Turner et al., (1978) e Cure & Acock (1986). O crescimento foliar é mais inibido que a fotossíntese pelos baixos valores de Ψ_{wf} e, a partir de -0,4 MPa, há uma redução de 25% de seu potencial máximo (Boyer, 1970a).

No processo de secagem do solo, valores de Ψ_{wf} , para a cultura da soja, podem ficar abaixo de -2,7 MPa, com redução na condutividade foliar e fotossíntese a partir de -1,5 MPa (Turner et al., 1978). Estes autores verificaram que, perante uma DA elevada, mesmo com o solo úmido, pode haver fechamento estomático. Alterações na condutância estomática sem alterações no Ψ_{wf} foram verificadas por Bennett et al. (1987), que salientam a importância do uso do Ψ_{wf} e sua relação com a condutância estomática em condições de estresse hídrico severo. Avaliando a atividade mitocondrial, Flowers & Hanson (1969) concluíram que somente o Ψ_{wf} não explica a inibição da respiração, não influenciando o fluxo hídrico ou a atividade enzimática.

As controvérsias perante o uso do Ψ_{wf} partem do pressuposto que mensurar o volume celular (teor de água relativo) é o mais importante para avaliar a atividade metabólica, sendo o teor de água na planta, mais crítico que o Ψ_{wf} para avaliar o estado hídrico da planta (Sinclair & Ludlow, 1985). Estes autores observaram que, ao avaliarem o teor de água na planta, o mesmo se mantinha estável em uma amplitude de valores de umidade do solo.

2.6.2. Temperatura da folha

As trocas de energia no SPAMA são controladas pelo fluxo na interface dossel-atmosfera (Jones, 2014). A temperatura da folha (TF) é o resultado do balanço de energia da planta, sendo importante para o controle fisiológico da evaporação. Com o aumento do grau de estresse hídrico da planta, a transpiração tende a reduzir e a TF aumenta (USDA, 2012). De acordo com Jones (2014), o equilíbrio da taxa de evaporação depende da energia de radiação e, quando a TF é igual à do ar (TA), tem-se uma condição de troca energética eficiente no sistema: “evaporação de equilíbrio”.

Existe uma relação direta entre a TF e a TA, uma vez que a planta se desenvolve em um sistema aberto com constante trocas energéticas, seguindo a lei newtoniana de resfriamento: “a taxa de resfriamento de um corpo é proporcional à diferença de temperatura entre o corpo e ambiente em seu entorno”. As trocas de energia, medidas pela temperatura, entre a folha e o ar ocorrem em três condições: i) Mudança abrupta (instantânea), ii) Mudança em rampa (gradual) e iii) Mudança harmônica, na qual a temperatura de equilíbrio oscila (Jones, 2014).

O avanço na utilização da TF para avaliar o estado hídrico da planta ocorreu com o surgimento dos termômetros infravermelhos, os quais possibilitaram maior praticidade e acurácia no campo (Kirkham, 2005). A temperatura medida por esses aparelhos segue o princípio da lei do corpo negro de Stefan-Boltzmann, apresentando emissividade de 0,95 a 0,97 (USDA, 2012). O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA) frisa a importância de mensurar a temperatura na parte da planta que mais participa ativamente na transpiração. Por ser uma metodologia não destrutiva e permitir medir áreas, diferentemente dos termopares (antes preconizados), o uso dessa ferramenta tem predominado em avaliações de natureza fisiológica.

A relação entre a máxima TF e o rendimento da soja foi observada por Jung & Scott (1980). A suficiência do uso da TF e do dossel na avaliação do estresse hídrico é produto da sensibilidade desses parâmetros às alterações na disponibilidade hídrica (Smith et al., 1985). Uma quantidade mínima de água é necessária para manter o estado hídrico das plantas estável (Niemi &

Goy, 1990). O ΔT ($TF - TA$) é uma medida indireta do aparato estomático, tendo aplicabilidade na avaliação da disponibilidade hídrica (Ehrler, 1973). A relação do ΔT com o DPV ar foi observada por Idso et al. (1981) e, a partir dela, desenvolveram o índice de estresse hídrico (ISH). O $IEH = (\Delta T - \Delta T_i) / (\Delta T_s - \Delta T^*)$, no qual ΔT_i é o limite inferior de ΔT em condições sem estresse hídrico, e ΔT_s é o limite superior em condições de estresse hídrico. A partir desses parâmetros, se obtém a relação com a variação no DPV ar. Baseado nessas relações, Idso & Reginato (1982) demonstraram que o limite inferior do ISH é uma função linear do DPV ar para algumas culturas e localidades.

A utilidade da ΔT no campo e o impacto da variabilidade da umidade do solo nesse parâmetro fisiológico das plantas foram observados por González-Dugo et al. (2005). Segundo estes autores, embora com o aumento do estresse hídrico haja um aumento da variabilidade da ΔT entre plantas, a pertinência do uso dessa ferramenta permanece, por não ser destrutiva, possibilitando seu uso em extensas áreas. Se por um lado, a TF é um reflexo da “percepção” da planta no tocante a disponibilidade de água, a TA , indiretamente, possui relevância, controlando a umidade relativa do ar (Rodríguez-Iturbe & Porporato, 2004). O papel da TA no DPV ar fica evidente quando se examina a seguinte equação: $e = \rho_v R_v T$, onde; e é pressão de vapor (Pa), ρ_v é a densidade de vapor de água no ar (kg m^{-3}), R_v é a constante dos gases ($8,314472 \text{ m}^3 \text{ Pa K mol}^{-1}$) e T a temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

Existe, diante do exposto, um acoplamento entre a planta e a atmosfera, envolvendo processos complexos, dentre os quais se destaca a abertura e o fechamento dos estômatos. Embora os estômatos tenham determinado controle nas trocas gasosas pelas folhas, a eficiência no qual decréscimos na condutância induzidos por déficits hídricos controlam a transpiração e assimilação dependem de inúmeros fatores, em especial no acoplamento entre a planta (cultura) e o ambiente (Jarvis & McNaughton, 1986). Desta forma, haverá um grau elevado de acoplamento quando as trocas de massa e energia entre as folhas e a atmosfera são eficientes, de maneira que a TF acompanha a TA . Mediante tais condições, o estômato participa grandemente no controle das perdas de água pelas plantas.

O fator de desacoplamento “fator ômega” descreve quão próximo o déficit de pressão de vapor na superfície foliar está atrelado ao ar fora da camada limítrofe. Este fator adimensional possui escala de 0 a 1, aumentando com o grau de desacoplamento, de maneira que em valores próximos a zero, o déficit de pressão de vapor na folha se aproxima ao da camada limítrofe, e vice-versa.

Em culturas comerciais (grãos) de ciclo curto e com elevada resistência da camada limítrofe (aerodinâmica suave) o acoplamento é fraco e o fechamento dos estômatos pode acarretar em aumentos na TF, aumentando a transpiração a despeito do fechamento estomático. Assim, Davies (2006), ressalta que a transpiração pode não ser controlada pelo fechamento dos estômatos e, em condições de ventos com baixa velocidade em dosséis, pode ser independente de condutância e proporcional a entrada de energia radiante.

Alterações no *status quo* das abordagens pertinentes a estudos relacionados à dinâmica da água no SPAMA passam pela inserção da interdisciplinaridade (Pieruschka et al., 2010). Estes autores indagam a escassez de estudos interdisciplinares envolvendo pesquisadores de solo, fisiologistas e meteorologistas, e afirmam haver uma retroalimentação hidrológica, na qual a TF representa o resultado do balanço energético das inter-relações entre a planta, a atmosfera (DPV folha-ar) e o solo (umidade do solo).

2.6.3. Implicações da demanda transpiratória

O balanço hídrico é promovido, dentre outros fatores, pela demanda transpiratória (DT), tornando abordagens que contemplem as condições atmosféricas mais próprias para avaliação do estado hídrico das plantas. As respostas das plantas ao estresse hídrico são influenciadas pela DA, havendo um aumento na dependência do estado hídrico das plantas da arquitetura radicular em condições de maior transpiração (Tardieu et al., 1992). A transpiração é um processo dominante e um “mal inevitável” para o desenvolvimento das plantas (Kramer & Boyer, 1995). Segundo estes autores, o processo ocorre em duas etapas: primeiro pela perda de água por evaporação da superfície celular no espaço intracelular e, em seguida, a difusão hídrica para fora do tecido da planta (via estômatos).

A dependência do processo transpiratório em relação ao suprimento energético para vaporização da água e ao gradiente existente entre a umidade do ar no interior da folha e a atmosfera que a circunda torna a DA crítica para aceleração ou desaceleração desse processo. O delta gerado pelas pressões de vapor na superfície evaporante (folha) e a pressão de vapor de água atmosférica (umidade relativa) depende da temperatura e umidade relativa, tanto da atmosfera como da superfície evaporante (folha) (Kramer & Boyer, 1995).

A perda de água pela superfície da folha é controlada pela diferença entre a pressão de vapor existente na mesma e a pressão de vapor do ar (DPV folha-ar), também mensurada pela sua umidade relativa. A pressão de vapor do ar depende do seu conteúdo de água e temperatura, ao passo que a da planta depende do potencial de água na mesma e sua temperatura. As células mesofílicas tendem a permanecer saturadas, de forma que a umidade relativa na planta é, para fins de avaliação, tida como 100%. Somado a este fator, sabe-se que o potencial de água na folha só passa a influenciar na sua DPV em condições de umidade relativa do ar muito baixa (<50%). Viabiliza-se, diante da dinâmica exposta, a utilização de um delta de DPV, conhecido como DPV folha-ar, que é obtido com os dados de TA e TF e a umidade relativa do ar. A DPV folha-ar representa a DT da planta, podendo auxiliar no entendimento de sua relação com a condição hídrica do solo e da atmosfera.

O ambiente ao redor da superfície evaporante condiciona a direção e intensidade do fluxo hídrico da planta, de maneira que dosséis menos densos e com solo descoberto circundante, podem gerar um efeito denominado “oásis”, aumentando a taxa transpiratória (Kramer, 1983).

A TF resultante dos processos metabólicos da planta, depende da TA e de sua umidade, sendo a magnitude desta associação denominada “fator ômega” (Jarvis & McNaughton, 1986). De acordo com estes autores, o acoplamento das culturas às condições atmosféricas tende a ser maior nas árvores em relação às culturas de grãos, visto a maior exposição às turbulências atmosféricas.

A limitação da taxa transpiratória em níveis elevados de DPV ar é um mecanismo que, em condições de baixa disponibilidade de água, pode aumentar a EUA pelas plantas (Sadok & Sinclair, 2009). Este comportamento

não só pode variar com a espécie em questão (Morison & Gifford, 1983; Patakas et al., 2005; Oguntunde et al., 2007), como apresentar variabilidade entre cultivares (Thomas et al., 1998; Wang et al., 2004). A amplitude de 1 a 3,5 kPa resulta em comportamentos estomáticos diferentes, inclusive com alterações no fluxo hídrico nas folhas das plantas (Sinclair et al., 2008). O aumento da taxa transpiratória atinge um pico máximo em torno de 2 KPa (Comstock & Ehleringer, 1993) havendo, em diversas espécies, inclusive na soja, um decréscimo na condutância estomática entre 1 e 2,5 KPa (Bunce, 1981). Cultivares melhoradas de soja, denominada de “soja de murcha lenta” apresentam esse padrão, ao passo que as demais cultivares aumentam a taxa transpiratória em DPV ar acima de 2,0 KPa (Fletcher et al., 2007). A menor perda de água não só acarreta em aumentos na eficiência transpiratória como está acoplada à eficiência no uso da radiação, que difere em função da disponibilidade hídrica (Sinclair et al., 2005).

A DPV ar pode alterar o valor crítico da AD no solo e, em condições de maior disponibilidade de água e DPV ar elevado (3,2-5,2 KPa), esse valor é atingido precocemente (Fletcher et al., 2008). Por outro lado, quando o solo está secando, a relação da transpiração com a disponibilidade de água não é influenciada pela DPV ar (Ray et al., 2002). A DPV ar, por esse raciocínio, parece influenciar na transpiração das plantas em condições de disponibilidade de água elevada, raramente existente em cultivos de sequeiro.

Visto a proximidade entre a TF e a transpiração foliar, pode-se avaliar a DPV folha-ar como uma demanda “real” transpiratória, ao passo que a DPV ar representaria uma demanda “potencial”.

Um mecanismo de suma importância no controle homeostático das plantas é a retroalimentação que permite a manutenção de valores baixos de Ψ_f , reduzindo a condutância estomática em condições de DPV folha-ar elevada (Franks & Farquahr, 1999). Neste processo, o Ψ_f funciona como sinalizador limitando perdas na condutância estomática em elevada DPV folha-ar e permite que, diante de elevada DT, a transpiração apresente uma taxa constante e estável se tornando insensível às alterações atmosféricas (Oren et al., 1999). A DPV folha-ar, em suma, influencia o estado hídrico das plantas por intermédio de três mecanismos: a) alterando a transpiração cuticular e dos estômatos, b) a condutância foliar e c) a taxa fotossintética (Bunce, 2006). Condições abióticas,

como a TA podem influenciar mais a EUA devido ao impacto na DT (Pan, 1996).

A cautela na avaliação dos impactos da DT em SIPAs deve ser maior. A presença de espécies anuais e/ou perenes e de metabolismos distintos (C3 e/ou C4) resulta em repostas distintas às condições edafoclimáticas (Ghannoun, 2009). A vantagem da diversificação de espécies (metabolismos) em sistemas integrados somente se torna palpável pelo aprofundamento nas questões fisiológicas.

A elevada DT pode limitar a taxa de assimilação de C nas plantas C3, sendo importante frisar que, a forma na qual a DPV folha-ar modifica a condutância estomática e assimilação de CO₂, afeta a sensibilidade das espécies em tais condições (Bunce, 2003). A forma na qual ocorre resposta estomática (fechamento estomático) determinará o grau no qual a assimilação de C é alterada, sendo que, quando esse processo ocorre em “retalhos”, a resposta de espécies C3 e C4 a DT é semelhante (Beyschlag et al., 1992).

Dentre as espécies C3, a soja apresenta um comportamento fisiológico digno de destaque. A dependência desta cultura na DPV folha-ar advém das repostas tanto na TF como no teor de água na folha a esse parâmetro (Carlson et al., 1972). O aumento do ΔT com o decréscimo da DT atinge um patamar máximo quando as folhas apresentam baixos teores de água e outros mecanismos de resfriamento da planta, como convecção forçada ou re-radiação, são insuficientes para resfriar a planta. A resposta estomática transitória às mudanças na temperatura pode ser resultante de melhorias no suprimento hídrico (Raschke, 1970), havendo uma interação entre a condutância estomática, a DPV folha-ar e o estado hídrico da soja.

A maior sensibilidade do aparato fotossintético de plantas C3 às condições de umidade relativa do ar é outro aspecto a ser considerado na avaliação do estado hídrico das plantas no SPAMA (Bunce, 1983). Em condições de estresse hídrico, as C3 apresentam respostas de natureza não estomática como redução da atividade de enzimas fotossintéticas, menor concentração de ATP, inibição da assimilação de nitrato, senescência precoce, e alterações na sua anatomia e estrutura foliar (Lawlor, 2002; Flexas & Medrano, 2002).

Em contrapartida, a resposta na atividade dos ciclos enzimáticos ainda apresenta incertezas. Embora existam vantagens fisiológicas das plantas C4 em relação às C3 quanto à eficiência fotossintética em condições de elevada temperatura e luz (Long, 1999), a tolerância ao estresse hídrico não acompanha essa linha. A bioquímica da fotossíntese das plantas C4 parece ser mais sensível que a das C3, uma vez que existe uma limitação metabólica (reação de Mehler) na via C3, imprescindível para a eficiência fotossintética da via C4 (Ghannoum, 2009).

Independentemente da via metabólica, as oscilações diu-noturnas da taxa fotossintética sugerem haver um caráter de histerese neste processo (Pettigrew et al., 1990). O aumento da DT ao longo do dia causando um fechamento parcial dos estômatos, ou ainda, uma resposta não estomática, justificam essa afirmação. Na cultura da soja, há um aumento ao longo do dia nos níveis de carboidratos, impondo um produto final inibitório (Peet & Kramer, 1980). A elevação da TA pode reduzir o fluxo de CO₂ (Baldochi et al., 1981). A máxima taxa fotossintética da soja é atingida na parte da manhã e, após, há um aumento na DPV folhar-ar e redução no Ψ_f (Akinci & Losel, 2012). Há duas condições distintas onde, com estresse hídrico, o fechamento de estômatos é uma resposta indireta da planta ao passo que, na ausência desse estresse, a relação fotossíntese/transpiração (EUA) depende da demanda transpiratória (DPV folha-ar) (Baldochi et al., 1985).

A despeito da natureza da causa, estresse hídrico, controle por retroalimentação ou ambos, há uma resposta estomática à redução no processo de fotossíntese (Farquhar & Sharkey, 1982). Todavia, existem controvérsias relacionadas às causas das limitações na taxa fotossintética em condições de déficit hídrico, ora explicado pelo comportamento dos estômatos (Ort et al., 1994; Cornic & Massacci, 1996) e ora pelo despareamento metabólico (Lawlor, 1995). Alterações no processo de síntese do ATP têm estimulado debates quanto aos impactos na taxa fotossintética (Lawlor & Cornic, 2002).

Em condições de estresse hídrico, no curto prazo, ocorre o fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, redução na taxa fotossintética (Chaves, 1991).

2.7. Estresse hídrico

O crescimento das plantas está relacionado ao estado hídrico das mesmas, dependendo dos fatores abióticos, como as condições atmosféricas (DPV) e a umidade do solo (Matzenauer et al., 2003). Por sua vez, a resposta das plantas às condições hídricas é complexa, sendo função da quantidade de água perdida e da duração do estresse (Bray, 1997).

A origem da palavra *stress* vem do latim *stringere*, significando tencionar (Websters, 2010). A homeostase é o conceito central da ideia do estresse, visto que, na biologia, a maioria dos processos busca manter o equilíbrio, o estado estável, existente mais como uma condição ideal do que passível de ser atingida. Desta forma, o estresse pode ser representado por fatores ambientais que interrompem o ponto homeostático, redundando em condições que distanciam organismo da homeostase. A ambiguidade na definição desse fenômeno foi primeiramente reconhecida por Hans Selye, em 1926, sendo algo que “afora sendo, também é a causa de ser e o resultado de ser”. Ainda, esse cientista definiu o *stress* como sendo “a resposta não específica de um corpo a qualquer demanda imposta”.

Segundo Larcher (1987), o estresse é um “estado no qual ocorre uma desestabilidade funcional em função de demandas crescentes, seguida pela normalização e resistência aprimorada..., se os limites são extrapolados e a capacidade adaptativa superada, os danos podem ser permanentes ou até mortais... O estresse possui elementos destrutivos e construtivos e é um fator de seleção... na evolução da resistência e da adaptação”. Neste contexto, Lichtenthaler (1996) estendeu esse conceito diferenciando o *stress* em *eu-stress* e *dis-stress*. *Eu-stress* é um *stress* ativador e estimulador, sendo um elemento positivo para o desenvolvimento das plantas, ao passo que o *dis-stress* é um estresse severo e causador de danos, afetando de forma negativa as plantas e seu desenvolvimento.

Percebe-se, diante das inúmeras propostas antes dispostas, a dificuldade de entender e avaliar o estresse, demandando cautela nas conclusões e na forma que se aborda esse assunto. A planta, por se desenvolver em um sistema aberto, sempre estará diante de algum grau de

estresse, porém, cabe avaliar os danos e/ou benesses que o mesmo resulta no ambiente SPAMA.

Levando em conta que, em sistema de produção de alimentos, trabalha-se com plantas que não se incluem na classe de “ideotipo”, adaptadas a regime de umidade e clima, tem-se, geralmente, que a taxa transpiratória excede a taxa de absorção radicular, sempre havendo algum grau de estresse hídrico (Turner & Begg, 1981). Estes autores destacam que o estresse hídrico é da planta e não do solo, sendo função da plasticidade fenotípica e envolvendo a área foliar, a condução estomática, a taxa fotossintética e o particionamento de fotoassimilados (parte aérea/raiz). De acordo com Schlichting (1986), a plasticidade fenotípica é a habilidade de um organismo (indivíduo) de alterar sua fisiologia/morfologia em condições ambientais.

Avaliando o índice de estresse hídrico, Idso et al. (1981) e Jackson et al. (1981) destacaram valores positivos de ΔT em condições de estresse hídrico e ressaltaram que o IEH e o comportamento estomático, dependem da DA. Existe, neste foco, uma lacuna entre o que se deseja das plantas em sistemas produtivos, a produtividade, e o objetivo da planta quando em condições de estresse hídrico, a sobrevivência (Muller et al., 2011).

A complexidade da resposta das plantas ao estresse hídrico advém da dificuldade de determinação da função de uma resposta observada onde, o estresse físico (mecânico) é mediado por respostas de caráter bioquímico (fisiológicas) (Bray, 1997). Embora muitas vezes preconizado que as plantas respondem diferentemente a diferentes tipos de estresse, Chapin (1991) afirma haver um sistema central que responde de forma semelhante a qualquer estresse fisiológico. Esse autor descreve esse comportamento em duas etapas: primeiro, um crescimento mais lento com redução da taxa fotossintética e de absorção de nutrientes e, em segundo, alterações no balanço hormonal com aumento na síntese de ácido absísico (ABA) e redução na síntese de citocinina. A complexidade da sinalização química a nível celular, envolvendo ABA, pH, citocinina, etileno e malato foi verificada por Schachtman & Goodger (2008). Semelhança entre respostas ao estresse hídrico e baixa disponibilidade de nitrogênio foi verificada por González-Dugo et al. (2010). A dependência entre estresses de diferente natureza em avaliações de disponibilidade de água é ressaltada por Whitmore & Whalley (2009).

É importante considerar, em qual estágio de desenvolvimento da planta, a condição que ocorre o estresse hídrico (Matzenauer et al., 2003). De 85 a 90% da variação do rendimento da soja é função da escassez de água em períodos críticos (Berlato & Fontana, 1999). Os estágios mais críticos são a semeadura e o período entre R1 e R5, sendo este período mais longo na soja em relação ao milho (Goldman et al., 1989; Matzenauer et al., 2003). A inibição metabólica das plantas C3 em condições de estresse hídrico difere das C4, visto as diferentes concentrações da enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase (RUBISCO). Sionit & Kramer (1977) ressaltam que o período do florescimento até o enchimento de grãos como sendo o mais crítico para a cultura da soja, destacando que a falta de água pode não afetar o rendimento da cultura, mas a qualidade de grãos, reduzindo o teor de óleo. Não menos importante, é o reconhecimento da existência de estágios de desenvolvimento radicular para cada espécie (Reicosky & Deaton, 1979), visto afetar a relação entre a disponibilidade de água no perfil do solo e o rendimento (grãos e/ou massa seca) das plantas.

As respostas da parte aérea e das raízes das plantas ao estresse hídrico diferem, havendo ajustes osmóticos na “zona de alongação” radicular e alterações de caráter morfológico em ambas as regiões (Pieruschka et al., 2010). Estes autores destacam que nas raízes, existem proteínas responsáveis pela expansividade e, conseqüentemente, reologia das paredes celulares, denominadas expansinas. A importância da função radicular para a associação entre raiz, água e clima foi ressaltada por Lee et al. (2005). De acordo com Farrar & Williams (1991), há um aumento de carbono na parte da planta que recupera mais rapidamente o equilíbrio metabólico, com aumento da concentração de sacarose, que age como uma mensageira ajustando a capacidade fotossintética do dreno em utilizar fotoassimilados.

Dentro do emaranhado de questões pertinentes à dificuldade de avaliar o estado hídrico das plantas em condições de estresse hídrico, deve-se, ainda, colocar em questão o impacto da distribuição pluviométrica no desenvolvimento das plantas. De acordo com a teoria do “pulso de produção” (pulse paradigm), a frequência dos eventos pluviais em ecossistemas controlados pela disponibilidade hídrica com entradas discretas, não frequentes e imprevisíveis, é essencial para avaliar a relação entre o estado hídrico das

plantas, as condições atmosféricas e o estado hídrico do solo (Verburg et al., 2012). A relevância dessa teoria aumenta, visto que, diante das alterações climáticas, se espera maior concentração dos eventos pluviais e menor regularidade na distribuição das chuvas (Oki & Kanae, 2006). O impacto das chuvas está relacionado à capacidade de infiltração do solo que, por sua vez, resulta da estrutura do mesmo e da área superficial coberta por resíduos (Panachuki et al., 2011; Gregory et al., 2000).

O estado hídrico da planta irá variar de acordo com o sinergismo entre extrações superficiais e subsuperficiais (Kang et al., 1998). De acordo com esses autores, a alternância na secagem superficial e subsuperficial é mais eficiente no estímulo da extração hídrica radicular em relação à somente uma camada do solo. O impacto positivo da secagem parcial do solo na EUA (Schachtman & Goodger, 2008) traz indagações relacionadas às respostas da planta à disponibilidade de água no perfil do solo. Cautela na avaliação da importância de explorar mais eficientemente o perfil do solo é necessária, devido à aglomeração radicular em bioporos, à baixa condutividade hídrica do solo e à elevada resistência física e/ou osmótica na interface solo-raiz em camadas mais profundas do solo (White & Kirkegaard, 2010). Nesta perspectiva, o dilema “biological drilling” versus rendimento requer atenção, uma vez que pode haver um aumento da profundidade radicular no perfil do solo sem respostas nos rendimentos.

A maior produção de raízes em condições de estresse hídrico só é vantajosa quando a disponibilidade hídrica é suficiente para suportar a produção de grãos (Ehdaie et al., 2012). Durante a fase de enchimento de grãos, cada mm de água absorvido equivale a 55 kg ha⁻¹ de grãos, tornando crítico o entendimento e a exploração das condições no solo pelas quais as raízes são capazes de absorver mais água (Whitmore & Whalley, 2009). Não se deve avaliar o estresse hídrico isoladamente, uma vez que valores tidos como impeditivos ao desenvolvimento radicular podem não representar a sensibilidade da planta ao estresse hídrico em níveis celulares (Clark et al., 2003). O monitoramento da umidade do solo (Beem et al., 1998), da TF e do Ψ_f , concomitantemente, pode ser de extrema utilidade para avaliar o estresse hídrico que provoca alterações nas relações hídricas, nos processos

bioquímicos e fisiológicos e na estrutura de membrana e celular (Yordanov et al., 2000).

O processo de absorção de água na interface raiz-solo é função de habilidades estáticas e dinâmicas das plantas relacionadas à superação do estresse (Durand et al., 2007). O Ψ_b pode ser visto como resultante da profundidade de extração e tende a balancear com a região do solo que mais contribui para transpiração. Na medida em que a planta absorve água do solo regiões de secagem “drying gaps” surgem e o baixo contato solo raiz passa a ser o maior empecilho para a manutenção do estado hídrico da planta (Durand et al., 2010). A sensibilidade da variação do potencial da água no solo em função das alterações nos teores de água do mesmo demonstra a dinamicidade das propriedades hidráulicas em ciclos de umedecimento e secagem do solo (Bengough et al., 2011).

A diferença do impacto do estresse hídrico em plantas anuais e perenes torna a utilização de sistemas de produção integrados intrigante. As culturas anuais exploram com mais eficiência as camadas superficiais, com picos de absorção nos períodos de maior demanda, ao passo que as perenes possuem uma taxa constante de absorção de água explorando mais o perfil do solo, dependendo da pressão de pastejo (Passioura & Angus, 2010). A capacidade das raízes de determinadas espécies não secarem mesmo em potenciais muito negativos (-1,5 MPa) é uma característica desejável, possibilitando maior duração e extração hídrica. Esses autores relatam que o maior desafio para tolerar um estresse hídrico é a obtenção de uma taxa ótima de desenvolvimento do dossel, visto que “a transpiração é a parceira eterna da assimilação de carbono”. Destaca-se que o manejo da pastagem, por controlar a altura do dossel e a cobertura do solo, é peça-chave para aumentar a EUA e a PH (Schlink et al., 2010). Em SIPA onde o período de pastejo é mais curto e as forragens passam a maior parte do tempo em estado vegetativo, viabiliza-se a maximização da EUA e PH.

A resposta estomática ao déficit hídrico é rápida e, muitas vezes, ocorre sem alterações morfológicas na planta (Griffiths & Parry, 2002). O Ψ_f tem sido um parâmetro que auxilia na detecção da condição hídrica em relação ao ambiente SPAMA, porém, as respostas a períodos secos podem ser constantes ou intermitentes e completas ou parciais, em relação à condição

anterior (Allen et al., 1998). A relação entre resistência ao transporte hídrico na planta e o Ψ_f depende da sua habilidade em se recuperar de um período seco, variando com o grau de severidade do estresse (Boyer, 1971). A soja, de acordo com esses autores, possui resistência considerável ao estresse hídrico em relação a outras culturas, como o girassol e o feijão.

O ΔT tem sido uma ferramenta utilizada para quantificar o estresse hídrico das plantas, dando ênfase para a importância da temperatura da folha no entendimento da modelagem do processo fotossintético de plantas C3 (Harley et al., 1985). A reversibilidade da inativação da enzima rubisco em plantas C3 foi destacada por Kobza & Edwards (1987), que verificaram, na condição de elevada temperatura de folha ($>25^{\circ}\text{C}$), redução na fotossíntese líquida em plantas C3 em função de alterações na solubilidade do CO_2 e do O_2 . Itier et al. (1992) reforçam a validade do IEH e a importância da TF para avaliar o impacto do estresse hídrico nas plantas. A temperatura do solo também pode ter efeito significativo em leguminosas, visto a inativação das enzimas termossensíveis como NAPD e isocitrato desidrogenase, indispensáveis para o processo de fixação biológica do N.

2.8. O grau de compactação do solo e seus impactos no rendimento das culturas e animal em sistemas puros e integrados de produção

O sistema de manejo utilizado para produção de alimentos influencia a estrutura solo e, quando conduzido de forma adequada, favorece o desenvolvimento das plantas sem causar prejuízos ao ambiente (produção equilibrada). A compactação do solo, ocasionada pelo manejo inadequado, resultante do pisoteio animal ou do tráfego de máquinas, é a responsável por modificar as propriedades físicas do solo, podendo ter reflexos negativos sobre a produtividade das culturas. Seu entendimento é fundamental na busca por sistemas de produção de alimentos mais eficientes (Glinski et al., 1991).

Alterações nas funções primordiais do solo ocorrem por não se levar em conta a capacidade de suporte do mesmo, determinada pela maneira na qual as entradas e saídas de animais e de máquinas ocorrem nas áreas de produção (janela de manejo) (Floss, 2012). As deformações causadas pelo

manejo inadequado do solo podem ser de caráter elástico (recuperáveis) ou plástico (irrecuperáveis). Assim, a avaliação do estado de compactação do solo requer cautela, pela dificuldade no entendimento de como se relaciona com o rendimento das plantas em sistemas de produção (Collares et al., 2008). Não menos crítica é a compreensão de não existir uma “condição física universal ótima” do solo e previsões a despeito da mesma, uma vez que o solo é um “reservatório” hídrico em um sistema aberto (Letey, 1985).

Os relatos a seguir refletem a dissonância entre os resultados obtidos na literatura a respeito da relação entre compactação do solo e o rendimento das plantas em sistemas de produção de alimentos, principalmente, os de longo prazo.

A compactação do solo pode ser definida como sendo um processo de redução de volume (compressão), com implicações sobre a movimentação de água e dos gases no seu interior e na resistência que oferece à penetração das raízes das plantas (Hillel, 1982). Em geral, se busca evitar, prevenir ou diminuir a compactação do solo por meio de práticas como: redução da carga axial e/ou aumento da área de contato dos pneus com o solo, manejo do solo em condições adequadas de umidade, redução do número de passadas de rodado e da intensidade e duração do pastejo, utilização do tráfego controlado, aumento da matéria orgânica do solo (MOS), escarificação em camadas com compactação crítica, uso da rotação de culturas e manutenção adequada das condições químicas e biológicas do solo (Hamza & Anderson, 2005).

Os efeitos negativos da compactação sobre o desenvolvimento e a produtividade das culturas parecem estar relacionados às condições de aeração e resistência mecânica junto ao ambiente radicular (Secco, 2003); Dias Junior & Pierce, 1996). Alguns trabalhos de pesquisa (Tormena et al., 1998; Imhoff, 2002) têm evidenciado que, à medida que o grau de compactação aumenta, diminui o conteúdo de água em que a porosidade de aeração considerada como sendo crítica (10%) é atingida; por outro lado, a compactação aumenta o teor de umidade abaixo do qual a resistência mecânica do solo à penetração torna-se superior ao valor de 2 MPa, normalmente considerado como crítico.

A distribuição dos poros segundo o seu diâmetro é afetada pela compactação, reduzindo a macroporosidade (Dias Junior & Pierce, 1996;

Secco et al., 2004). Esta redução, considerando um mesmo teor de umidade, aumenta a energia de retenção da água (Reichardt & Timm, 2004). Assim, para determinado grau de compactação em função do tipo de solo, haverá um incremento na probabilidade de ocorrência de teores de umidade restritivos ao crescimento das plantas. Dessa forma, os efeitos da compactação sobre a produtividade das culturas tendem a ser mais pronunciados diante de condições de excesso ou déficit hídrico (Unger & Kaspar, 1994). Nestas condições, há restrição ao desenvolvimento radicular, seja pela deficiência de oxigênio (anaerobiose) (Hillel, 1982), como pelo aumento da resistência à penetração (Chan & Heenan, 1996; Silva & Rosolem, 2002; Rosolem et al., 2002; Foloni et al., 2003; Tubeileh et al., 2003; Beutler et al., 2004).

No tocante a AD (retida entre os potenciais de -0,033 a -1,5 MPa), a pesquisa (Imhoff, 2002; Leão, 2002; Silva, 2003) tem demonstrado que a umidade volumétrica (Θ_v) equivalente ao PMP aumenta com o aumento do grau de compactação. Há, nesta condição, um aumento no número de partículas por unidade de volume de solo, embora nesta tensão (-1,5 MPa), a água esteja retida na forma de filmes ao redor das partículas, independentemente da porosidade (Reichardt, 1988). Já, a umidade na CC é afetada pela compactação, sendo condicionada, principalmente, pela textura (Silva, 2003).

A condição física resultante do processo de compactação do solo é referida, por Hakansson et al (1988), como grau ou estado de compactação. A compactação oriunda exclusivamente do tráfego agrícola em SPD depende das características das máquinas que transitam nas lavouras. A compactação superficial do solo pelo tráfego de máquinas depende da pressão de contato pneu/solo, enquanto que a subsuperficial está relacionada ao peso sobre os rodados (Sánchez-Girón, 1996; Jorajuria & Draghi, 1997; Raper, 2005). Neste sentido, Sánchez-Girón (1996) considera que a compactação subsuperficial é aquela que ocorre a profundidades maiores que 0,30 m. Outro fator que promove a compactação superficial e progressiva em SPD é o tráfego em condições de umidade desfavorável, ou seja, umidades que levam o solo a ter uma deformação plástica e irreversível (Debiasi et al., 2008).

O nível de deformação do solo correlaciona-se positivamente ao número de passadas com o maquinário (Jorajuria & Draghi, 1997; Ess et al.,

1998; Botta et al., 2004). Este fator afeta tanto a compactação superficial quanto a subsuperficial, pois o volume de solo compactado, tanto em profundidade quanto lateralmente à linha de tráfego, aumenta à medida que as passadas se repetem (Novak et al., 1992). Em solos soltos, a maior deformação é ocasionada pela primeira passada, diminuindo progressivamente para as demais; por outro lado, em solos com determinado grau de consolidação, o nível de compactação é mais ou menos uniforme entre as passadas sequenciais (Sánchez-Girón, 1996).

Uma das práticas que vem sendo preconizada para diminuir o estado ou grau de compactação em SPD, engloba o uso de sistemas de rotação de culturas que incluam plantas de cobertura do solo (Torres & Saraiva, 1999; Hamza & Anderson, 2005). Tal possibilidade melhora a qualidade física do solo por manter e/ou aumentar a MOS (Oades, 1993), criar poros biológicos (Dexter, 1991), melhorar a estrutura e manter palha suficiente na superfície do solo (Franchini et al., 2011). Vários autores têm registrado o aumento da MOS da camada superficial de solos em SPD (Bayer & Mielniczuk, 1997; Corazza et al., 1999; Amado et al., 2001). Outrossim, o solo manejado em SPD, com sistema de rotação de culturas e plantas de cobertura de inverno, como preconizado, ao permitir o acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo, pode atenuar o efeito das cargas aplicadas sobre o mesmo (Debiasi et al., 2008), principalmente na camada superficial (0-5 cm) (Dao, 1996).

A quantidade de material vegetal adicionado à superfície e a quantidade de matéria orgânica acumulada no solo são dependentes do sistema de culturas adotado (Bayer et al., 2000; Amado et al., 2001). Aqueles sistemas que incluem culturas com alta produção de matéria seca e culturas com alta relação carbono/nitrogênio (C/N) resultam, em geral, em maiores acúmulos de MOS. Os resíduos de leguminosas têm grande importância como fornecedores de N, podendo contribuir para a redução da relação C/N da MOS (Hargrove, 1986). Em contrapartida, os resíduos de gramíneas promovem a melhoria da estrutura do solo, por possuírem maior conteúdo de lignina, possibilitando aumento de ácidos carboxílicos e ácidos húmicos nos substratos (Primavesi, 1982). Esta condição favorece a estruturação e a estabilidade dos

agregados do solo (Fassbender & Bornemisza, 1994), tornando-o menos suscetível à compactação.

A MOS, além de aumentar a estabilidade da estrutura, através de sua ação cimentante, estimula a atividade da macro e mesofauna, resultando na formação de novos agregados (Dexter, 1988; Oades, 1993). Reduções na densidade do solo, em virtude do aumento do teor de MOS do mesmo, têm sido relatadas na literatura (Zhang et al., 1997; Arvidsson, 1998; Braida, 2004; Jarecki et al., 2005) e se devem ao baixo grau de empacotamento dos materiais orgânicos (Soane, 1990).

A pesquisa vem mostrando haver uma diminuição do grau de compactação do solo pela inserção de plantas de cobertura em sistemas de rotação ou sucessão de culturas. Bhattacharyya et al. (2006), avaliando diferentes sucessões de culturas, em um solo com 220 g kg^{-1} de argila, localizado numa região de clima subtropical, concluíram que a substituição do trigo por lentilha ou ervilha forrageira, em sucessão à soja, aumentou o volume de água disponível e a condutividade hidráulica saturada e não saturada, além de diminuir a D_s , o que foi mais evidente na camada de 0 a 0,15 m. Miglierina et al. (2000), estudando o efeito de sistemas de rotação de culturas e da adubação sobre as propriedades físicas de um solo areno-siltoso, encontraram que a rotação dois anos trigo/dois anos aveia preta ou triticales + ervilhaca, na condição fertilizada, resultou em maior MOS e maior AD, em função do incremento na quantidade de poros de tamanho médio (0,19 e 8,81 μm), comparativamente ao sistema trigo/trigo não fertilizado.

Em contrapartida, o efeito benéfico das plantas de cobertura sobre as propriedades do solo como: infiltração da água, condutividade hidráulica e a RP, não tem sido comprovado (Teixeira et al., 2003; Genro Junior et al., 2004). Isso, no entanto, pode estar relacionado ao tempo de utilização dessas plantas de cobertura dentro do sistema. A cobertura do solo pelos resíduos aumenta a armazenagem hídrica no solo, trazendo melhorias no processo de fixação biológica de N, que retroalimenta o sistema pelo fornecimento desse nutriente para as plantas, essencial no processo fotossintético (produção de biomassa) (Siczek & Lipiec, 2011). Estes autores ressaltam a maior atenuação da transmissão de cargas ao solo em função da superfície coberta.

Uma das vantagens em SIPAs é a eficiência em manter balanço positivo de energia (carbono) no SPAMA. No SIPA, tal manejo consiste em adequar a intensidade de pastejo de modo que o resíduo da pastagem e da cultura designada para grão seja suficiente para ciclar nutrientes (Anghinoni & Assmann, 2011) e água. Tanto a baixa quantidade como o excesso de resíduos, pode reduzir a EUA do sistema, seja pelas elevadas perdas evaporativas ou pelas dificuldades na operação de semeadura, afetando o cultivo subsequente (Wall & Stobbe, 1984).

O impacto positivo do manejo adequado de animais em SIPAs nos estoques de carbono no perfil do solo (Souza et al., 2009, Carvalho et al., 2011) permite, no longo prazo, maior eficiência no uso dos recursos naturais, coibindo possíveis danos ao SPAMA pelo tráfego com animais e máquinas.

Contrariando o senso comum, percebe-se que o adensamento parcial do solo pela presença do tráfego, animal e de máquinas, pode trazer benefícios ao sistema. Inicia-se pelo fato da elasticidade do esterco aliviar a transmissão de estresse para o perfil do solo, gerando um tamponamento físico (Hamza & Anderson, 2005). O aumento na resistência a perdas de água por evaporação resultante do adensamento parcial da superfície do solo (Veiga et al., 2010) e as modificações funcionais (condutividade hidráulica e do ar e índice de continuidade), devido ao pisoteio animal (Moreira et al., 2012), demonstram como o aumento da massa de solo por volume pode trazer melhorias para o equilíbrio de fluxos no solo. O impacto da densidade do solo é menor quando o solo se encontra em processo de secagem podendo haver um efeito positivo do aumento da mesma na retenção e disponibilidade hídrica (Tormena et al., 1998).

A organização do sistema solo com o manejo adequado dos animais em SIPAs aumenta a capacidade de recuperação do solo por meio de processos biológicos e físicos, muitas vezes não detectado pela densidade do solo (Logsdon & Karlen, 2004). Ao longo do tempo, o pastejo tende a alterar, na camada superficial (0-10 cm), a estrutura do solo, de blocos para laminar, e a magnitude dos aumentos dos valores de densidade se torna mais importante que os valores em si (Martinez & Zinck, 2004). A diversificação de espécies com aumento da Ds em sistemas sem (Tormena et al., 2007) e com pastejo

moderado (altura de 21cm) (Petean et al., 2010) podem aumentar a AD e, conseqüentemente, o rendimento das plantas (Bouwman & Arts, 2000).

Nesse nível de organização do solo, resultante das alterações, no tempo, mediante processos hidráulicos e mecânicos, há um novo arranjo na geometria e na continuidade dos poros, no qual a resistência do solo à transmissão de cargas vertical (bioporos) é maior que a horizontal (Alaoui et al., 2011). O efeito “guarda-chuva”, segundo esses autores, não permite a transferência das cargas para a subsuperfície do solo. Este novo nível de organização é definido por estrutura de “poros remanescente” (Richard et al., 2001). Tal organização advém da destruição dos poros estruturais, ao longo do tempo, pelo tráfego animal e de máquinas, onde as propriedades hidráulicas do solo regem o SPAMA, viabilizando maior retenção de água em potenciais mais altos (>-80 KPa).

O efeito “guarda-chuva” é mais pronunciado em SIPAs devido a dois aspectos: o predomínio dos impactos do pastejo no solo nas camadas superficiais (Flores et al., 2009; Conte et al., 2010) e a menor utilização de maquinaria agrícola, os quais, em função da largura dos rodados, podem transmitir cargas para camadas mais profundas (Conte et al., 2009). Cuidado deve ser tomado ao avaliar a relação resíduo-solo-máquina, pois o tráfego de máquinas em condições de balanço positivo de energia (resíduo) pode aumentar a capacidade de carga na superfície do solo sem alterar a susceptibilidade do mesmo à compactação (Debiasi et al., 2008).

A relação solo-máquina deve ser incluída no processo de avaliação da qualidade do solo desses sistemas, visto que operações ao longo do ciclo de cultivo, não só compactam como, no caso da semeadura, podem resultar em volumes significativos de mobilização de solo (Conte et al., 2011), podendo atenuar os impactos do pisoteio animal. Assim, há um sinergismo entre a profundidade de ação das hastes sulcadoras com o “efeito guarda-chuva”, destacado anteriormente.

Propriedades responsáveis pelos fluxos de ar e água no solo, após longo prazo de tráfego com máquinas ou com animais, como a condutividade hidráulica e a permeabilidade ao ar, apresentam caráter anisotrópico mais definido que as propriedades mecânicas (Dörner & Horn, 2009). A tendência da predominância de fluxos hídricos e gasosos horizontais devido à estrutura

mais laminar em função do pastejo, foi verificada por Krümmelbein et al., 2006; Reszkowska et al., 2011). Assim, a relevância da compactação avaliada pela D_s diminui (Lipiec et al., 2003) e reforça-se a necessidade de aprofundamento no entendimento da funcionalidade desse novo ambiente solo (Alaoui et al., 2011). Este processo deve levar em conta fluxos baseados na equação de Richards (difusão do potencial de energia) (Richards, 1931) e abordagens utilizando a teoria de ondas cinemáticas (Lighthill & Whitham, 1955) baseadas na dissipação do *momentum* (Germann & DiPietro, 1996) que relaciona, por uma função exponencial, os fluxos hídricos ao teor hídrico móvel (água livre).

Paralelo a essa organização, a textura do solo também deve ser contemplada para avaliar a AD (Klein et al., 2010), principalmente pelo impacto na curva de retenção de água (Carducci et al., 2011). Em solos com textura mais argilosa, o efeito da compactação no crescimento das plantas é menor e a inconsistência do comportamento do mesmo em resposta à compactação é maior (Kay et al., 1997). A influência positiva da compactação (Hakansson & Lipiec, 2000) e da umidade do solo (Lipiec & Hakansson, 2000) no rendimento de grãos, suportam a dependência da produtividade com um determinado grau de compactação. Esta, por sua vez, ganha magnitude com o aumento no teor de argila do solo (Rydberg, 1987). As alterações na estrutura advindas de algum grau de compactação do solo podem alterar os limites de AD pela superestimação da CC em função da nova organização estrutural do solo (Tarawally et al., 2004).

Solos mais argilosos, quando submetidos a manejos conservacionistas (balanço positivo de energia e baixo revolvimento do solo) apresentam maior resiliência física (Bavoso, 2012). A resiliência física do solo pode ser definida, segundo essa autora, como a capacidade do solo em promover trocas (fluxos) de energia e retornar a um equilíbrio semelhante ao estado antecedente. Esta propriedade do solo, numa visão sistêmica, é análoga ao conceito de fertilidade proposto por Nicolodi & Anghinoni (2009), representando uma propriedade emergente em um sistema que evolui para níveis hierárquicos de não equilíbrio mais elevados (Vezzani & Mielnizcuk, 2011).

Sistemas integrados de produção com adesão de animais podem aumentar a eficiência na ciclagem hídrica, visto a dependência da resiliência

física do solo e dos novos fluxos, gasosos e hídricos, no acúmulo de MOS e na sua textura (Bavoso, 2012). Esta autora ressalta que, em sistemas conservacionistas, a umidade do solo e as propriedades relacionadas a fluxos como a condutividade ao ar e a agregação, apresentam maior resiliência quando comparadas a medidas empíricas como a Ds. A recuperação da Ds em SIPAs no período de tempo entre a saída dos animais e a semeadura foi verificada por Flores et al. (2008) e Conte et al. (2010). Embora a redução na Ds aumente com tempo após o pastejo (Collares et al., 2011), o crescimento prolongado da pastagem pode ser prejudicial à EUA do sistema, reduzindo o rendimento do cultivo subsequente de verão (Sims, 1989).

As plantas contribuem para aumentar a resiliência física do solo, seja pela plasticidade radicular (compensação cilindro vascular e da área de córtex) (Lipiec et al., 2012), como pelo impacto da absorção hídrica em sistemas de cultivo intensivo (colher-semear) nos ciclos de umedecimento e secagem do solo (Angers & Caron, 1998).

A plasticidade do próprio solo é outra propriedade que também emerge em SIPAs bem manejados (balanço positivo de energia). O estudo da reologia, tida como a ciência do comportamento dos fluxos, onde, com base em equações isotérmicas, pode-se descrever a deformação de fluidos e corpos plásticos sujeitos a estresses têm auxiliado no entendimento dos processos mecânicos da microestrutura do solo (Markgraf et al., 2006). Utilizando a lei da visco-elasticidade de Hook, Markgraf et al. (2011) verificaram que, em condições de maior umidade do solo, o aumento na MOS resulta em maior resistência do solo à deformação e melhores propriedades elásticas, permitindo um maior grau de deformação antes de atingir o ponto crítico, no qual a mesma passa a ser irreversível.

Avaliar a qualidade do solo por meio de valores empíricos, como a sua densidade (Reinert et al., 2008) ou resistência mecânica à penetração de raízes, diante do exposto, tem sido um viés, ao menos, insuficiente. A heterogeneidade do ambiente radicular dificulta a acurácia das relações entre atributos físicos do solo, como a RP, e a resposta das plantas (Lipiec et al., 2012). Embora a compactação adicional do solo tenha afetado rendimento de feijão, a sua escarificação, a despeito da redução da RP, não resultou em aumento de produtividade da lavoura (Collares et al., 2008). Após 21 anos de

manejos com e sem revolvimento do solo, Fernández et al. (2007) alertaram para dependência das lavouras na distribuição das chuvas, sobrepondo o estado de compactação do solo.

Pesquisadores têm buscado outros índices como a densidade relativa (Klein, 2006), relações entre capacidade de campo e porosidade total (Reynolds et al., 2011) e pressões críticas no solo, relacionamento o crescimento das plantas com a pressão de pré-consolidação (Imhoff et al., 2001), para avaliar a qualidade física do solo. No entanto, o cerne desta questão parece ser manejar o sistema de produção viabilizando, ao longo do tempo, a construção de uma nova estrutura de solo (organização), mais eficiente na estocagem e na ciclagem hídrica. Em contrapartida, a dificuldade em avaliar esta estrutura já era frisada por Forsythe (1975).

2.9. O Intervalo hídrico ótimo (IHO) como ferramenta de avaliação da qualidade física do solo

O conceito de faixa de teor de água não limitante (non limiting water range-NLWR) foi apresentado por Letey (1985), definindo-o como a faixa de teores de água no solo na qual não há restrições ao crescimento das plantas pela deficiência de oxigênio (limite superior), pela deficiência de água no solo, em valores próximos ao ponto de murcha permanente, ou quando a resistência do solo atinge ao limite inferior (2 MPa), inibindo o crescimento radicular. Silva et al. (1994) aprimoraram o conceito de NLWR, partindo do princípio que o crescimento do sistema radicular varia de uma forma contínua com o potencial hídrico, denominando-o, então, de least limiting water range (LLWR). Posteriormente, Orellana et al. (1997) consolidaram o termo intervalo hídrico ótimo (IHO) do solo, como tem sido usado na literatura brasileira. O IHO integra três fatores relacionados ao crescimento das plantas, determinados pelas propriedades intrínsecas e pela estrutura do solo (Silva et al., 1994; Leão et al., 2006), a resistência a penetração, a porosidade de aeração e a AD.

O IHO fica mais estreito à medida que o estado de compactação aumenta (aumento da densidade do solo) e ocorre degradação da estrutura (Silva, 2003). A aeração do solo pode restringir a difusão de oxigênio e, por consequência, o crescimento radicular, quando o teor de água está abaixo da

CC, assim como a resistência do solo à penetração pode restringir crescimento em teor de água maior que a correspondente ao PMP. A partir do IHO se obtém um valor de D_s a partir do qual o mesmo (IHO) atinge o valor zero, denominado densidade crítica ($D_{s_{cIHO}}$).

De acordo com a teoria do intervalo, a vulnerabilidade de cultivos ao estresse hídrico (excesso ou escassez) e, conseqüentemente, a reposta em seu desenvolvimento, apresenta uma relação inversa com o IHO. Assim, nos últimos anos, houve aumento na pesquisa focada na utilização desse indicador físico-hídrico (Tormena et al., 1998; Leão, 2002; Silva, 2003; Beutler et al., 2006; Beutler et al., 2007; Beutler et al., 2008; Collares et al., 2006; Cavalieri et al., 2006; Freddi et al., 2007; Klein & Camara, 2007; Leonel et al., 2007; Blainski et al., 2009; Petean et al., 2010). Buscando adicionar mais informações a esses atributos físicos integrantes do IHO, Reichert et al. (2009) estabeleceram relações entre a densidade crítica do solo obtida pelo IHO (D_{s_c}) e o teor de argila.

No entanto, poucos desses trabalhos procuraram associar o IHO com a resposta das culturas. Quando avaliado, os resultados divergiram, havendo (Silva et al., 1994) e não havendo (Silva, 2003) influência do IHO na produtividade das culturas. A inconstância da resposta das raízes do feijoeiro em função da escolha do valor para o limite inferior do IHO, a RP (Kaiser et al., 2009) é um alerta quanto ao uso desse indicador. Klein & Camara (2007) destacam a insuficiência do limite de 2 MPa para estabelecer relações com o rendimento da cultura da soja.

Além do estabelecimento de relações entre a $D_{s_{cIHO}}$ e o teor de argila, (Reichert et al., 2009), faz-se necessário o conhecimento do limite no qual a densidade se tornará restritiva, uma vez que a mesma tende a se estabilizar em sistemas conservacionistas (Carter et al., 1999). Persiste, ainda, em função da complexidade do SPAMA, a incerteza quanto à propriedade que mais restringe o IHO. Este questionamento é intrigante e aberto a indagações, visto as alterações na dinâmica biofísica do solo, quando submetido a sistemas integrados de longo prazo (Flores et al., 2009; Carvalho et al., 2010).

No SPAMA, no longo prazo, a interdependência entre os elementos que participam do sistema e a dificuldade de avaliação dos fluxos torna morosa a busca por indicadores da qualidade física do solo. Embora Beutler et al.

(2007) afirmem que o IHO seja adequado no monitoramento da compactação e da qualidade física do solo é, ao menos, intrigante que os mesmos tenham verificado, em condições irrigadas, maior tolerância da cultura da soja à compactação. Avaliando a qualidade física do solo com o IHO em sistema de produção integrada, Petean et al. (2010) observaram a necessidade de manter a altura da pastagem de aveia + azevém acima de 21 cm da superfície do solo e ressaltam a importância da janela entre a saída de animais e semeadura da soja.

A relação do IHO com o rendimento, tanto animal como da soja, no SPAMA têm sido pouco abordada. A escassez da relação do IHO com repostas biológicas (rendimento) e a dificuldade de estabelecer uma relação quantitativa entre produtividade das culturas e compactação foi alertada por Gubiani (2012). Deste modo, o mesmo questiona o uso desse indicador na avaliação da qualidade física do solo em vista da sua imprecisão como índice agrônomo de manejo da compactação.

Percebe-se a necessidade de aprofundar o conhecimento a respeito da acuracidade do IHO como índice de qualidade física do solo, envolvendo outros limites ou processos físicos, especialmente em solos estruturalmente afetados pelo pisoteio em sistemas de integração lavoura-pecuária de longo prazo.

3. CAPÍTULO II. MATERIAL E MÉTODOS GERAL

3.1. Histórico, localização e caracterização da área experimental

Neste capítulo, é descrito o protocolo experimental base deste trabalho com as principais caracterizações físicas e químicas e o manejo imposto ao longo dos seus 11 anos de condução. Em função do trabalho ter sido realizado apenas no primeiro bloco do experimento, em cada capítulo, detalhes quanto às amostragens, especificidades dos locais amostrados, análises e outros aspectos inerentes aos estudos realizados são descritos.

O experimento faz parte de um projeto integrado entre os Departamentos de Solos e de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A pesquisa vem sendo conduzida desde maio de 2001, em área localizada na Fazenda do Espinilho, pertencente à Cabanha Cerro Coroadó. A sede está localizada no município de São Miguel das Missões, ocupando também área dos municípios de Jóia e Tupanciretã, na região fisiográfica do Planalto Médio – RS (29°03'10" S latitude, 53°50'44" O longitude). A altitude do local é de 465 m e o clima caracteriza-se como subtropical úmido e quente (Cfa), segundo a classificação de Köppen (Kottek et al., 2006), com temperatura média anual de 19°C e precipitação média anual de 1.850 mm (CEMETRS, 2013). O relevo é ondulado a suavemente ondulado e a localização na paisagem é topo de colina, com declividade entre 0,02 a 0,10 m m⁻¹.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2006) da unidade de mapeamento Santo Ângelo (Streck et al., 2008), profundo, bem drenado, com coloração vermelho-escura e textura muito argilosa (540, 190 e 270 g kg⁻¹, de argila [$< 0,002$ mm], silte [$\geq 0,002$ e $< 0,02$

mm] e areia [$\geq 0,02$ mm], respectivamente). Antes do início do experimento, em 2001, a área vinha sendo cultivada em sistema plantio direto desde 1993, com aveia preta (*Avena strigosa*, Schreb) no outono-inverno (maio a novembro) e soja (*Glycine max*) na primavera-verão (novembro a maio). Em junho de 2001, a área foi utilizada para o pastejo de animais pela primeira vez, dando início ao SIPA, com aveia-preta + azevém (*Lolium multiflorum*, Lam.), no período hibernal e soja, no período estival. A área ficou em pastejo por três semanas, no mês de julho e, na sequência, os animais foram retirados para que ocorresse a rebrota da pastagem para a produção de sementes e implantação da cultura da soja, após sua colheita.

Foi realizada uma amostragem, em novembro de 2000, para caracterização química do solo da área experimental (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da implantação do experimento (São Miguel das Missões RS, novembro de 2000)

Camada	pH- H ₂ O ⁽¹⁾	MO ⁽²⁾	Cátions trocaáveis ⁽³⁾			H+Al	K ⁽⁴⁾	P ⁽⁴⁾	V ⁽⁵⁾	m ⁽⁶⁾
			Ca	Mg	Al					
-- cm --		g kg ⁻¹	----- cmol _c dm ⁻³ -----			- mg dm ⁻³ -		----	%	-----
0 a 5	4,9	4,2	6,2	1,3	0,3	8,7	240	13	48	4
5 a 10	4,6	3,5	4,8	1,8	0,6	9,7	119	10	41	9
10 a 15	4,6	2,6	4,1	2,2	0,7	9,7	88	5	40	11
15 a 20	4,6	2,6	4,0	1,1	1,0	10,1	55	4	34	17

⁽¹⁾ Relação 1:1; ⁽²⁾ Matéria orgânica; ⁽³⁾ KCl 1 mol L⁻¹; ⁽⁴⁾ Potássio e fósforo disponíveis (Mehlich-1); ⁽⁵⁾ Saturação por bases; ⁽⁶⁾ Saturação por alumínio.

Fonte: Cassol (2003).

3.2. Tratamentos, delineamento experimental e condução do experimento

Como se trata de um protocolo de longa duração e, ainda, em execução, utilizar-se-á, em alguns momentos, o tempo presente em sua caracterização. No outono de 2001, após a colheita da soja, foi iniciado o experimento com estabelecimento da pastagem de aveia preta + azevém. A área total do experimento é de aproximadamente 22 hectares, a qual foi dividida em 12 parcelas cujos tamanhos variam de 0,8 a 3,6 hectares (Figura 2), em função dos tratamentos aplicados. As parcelas são separadas por cerca

elétrica de dois fios. Ao longo do experimento foi utilizado um corredor lateral para manejar os animais.

Os tratamentos constam de diferentes alturas de manejo do pasto: 10, 20, 30 e 40 cm, distribuídas em delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições, sendo a altura da pastagem acompanhada a cada 14 dias, pelo método Sward stick (Bircham, 1981). As alturas de manejo do pasto são obtidas pela variação de carga animal de acordo com as alturas verificadas: retirando-se animais dos poteiros quando a altura real era menor que a pretendida e vice-versa. Nas áreas entre os blocos o pastejo é excluído, sendo consideradas como de referência (Figura 2).

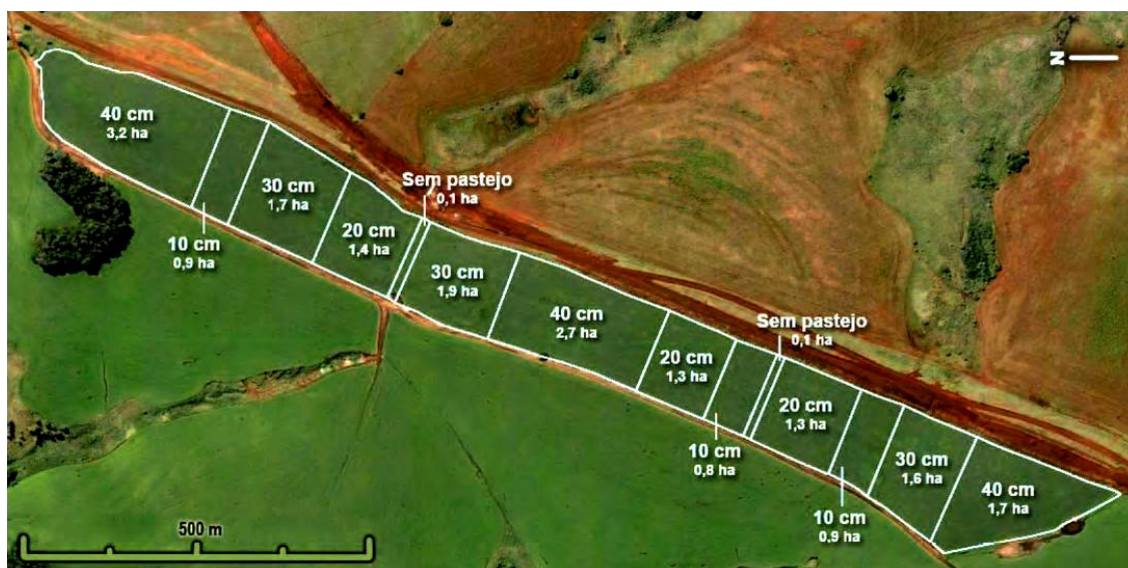


Figura 2. Croqui da área experimental na Fazenda do Espinilho – São Miguel das Missões RS. Fonte: Martins (2013).

Para o presente trabalho, consideraram-se os tratamentos: pastejo intenso (10 cm de altura de manejo do pasto); pastejo moderado (média dos tratamentos de 20 e 30 cm de altura de manejo do pasto); e sem pastejo (área testemunha). A condução experimental a partir da sementeira das culturas de inverno é detalhada a seguir.

Em torno de 45 dias após a sementeira da pastagem se realizava uma adubação nitrogenada de cobertura, com dose variando de 45 a 90 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia. Os animais entram na área quando a pastagem atinge um acúmulo médio em torno de 1500 kg de MS ha⁻¹ e é apenas fornecido o sal comum (NaCl), afóra a forragem. O sistema de pastejo praticado é o contínuo

e, de uma forma geral, os animais iniciam o ciclo de pastejo na primeira quinzena de julho, que se estende até a primeira quinzena de novembro. Utilizam-se bovinos jovens, machos e castrados, com idade ao redor de 12 meses, sem padrão racial definido, pesando, geralmente, em torno de 200 kg ao entrar na área experimental, simulando um sistema de recria de novilhos ou terminação de animais jovens.

Após a retirada dos animais, a pastagem é dessecada para que seja realizada a semeadura da soja, a qual ocorre entremeados de novembro a dezembro, em sistema de plantio direto, sendo os tratos culturais os recomendados para a cultura (RPSRS, 2000; 2001; 2002; 2003; 2004; 2005; 2006; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011. PSRS).

Antes da implantação do primeiro ciclo da cultura da soja, em novembro de 2001, foi feita uma aplicação superficial de calcário em toda área, na dosagem de $4,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ (PRNT de 62%), recomendada para elevar o pH do solo até 5,5 para o sistema de plantio direto consolidado (CQFS RS/SC, 2004) e, desde então, se tem acompanhado o efeito do calcário em profundidade, pela análise das amostras de solo coletadas periodicamente no experimento.

A adubação do sistema (Tabela 2) consta, basicamente, da aplicação de N na pastagem, e de P e K na soja, considerando as análises de solo, em doses para produtividade entre $4,0$ e $7,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de matéria seca de pasto e de $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de grãos de soja (CQFS RS/SC, 2004). A colheita da soja, geralmente, é realizada entre abril e maio.

Após o término de cada ciclo de pastejo (novembro) e a cada ciclo da cultura da soja (maio), foram realizadas amostragens do solo para avaliação de seus atributos químicos e físicos. Esse cronograma tem sido executado desde maio de 2002.

Tabela 2. Histórico de adubações realizadas na soja e na pastagem no protocolo experimental do sistema integrado de produção agropecuária (São Miguel das Missões RS)

Ano	Nutriente		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	----- k ha ⁻¹ -----		
----- Soja -----			
2001/02	-	60	-
2002/03	-	60	90
2003/04	15	60	60
2004/05	-	60	90
2005/06	-	60	90
2006/07	-	60	90
2007/08	-	60	60
2008/09	-	60	60
2009/10	-	60	60
2010/11	-	60	60
2011/12	-	60	60
----- Pastagem -----			
2001	45	-	-
2002	45	60	-
2003	90	-	-
2004	45	-	-
2005	45	-	-
2006	45	-	-
2007	45	-	-
2008	45	-	-
2009	90	-	-
2010	45	-	-
2011	90	-	-
2012 ⁽¹⁾	140	60	60

⁽¹⁾ A partir do inverno de 2012, a adubação começou a ser realizada visando o sistema, com dose integral na pastagem. Fonte: Martins (2013).

4. CAPÍTULO III. ESTUDO 1 – CONFRONTANDO INDICADORES DE SOLO E PLANTA NA CULTURA DA SOJA EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

4.1. Introdução

Atualmente, melhorias nos sistemas de produção de alimentos são essenciais para suprir a crescente demanda alimentar (Lal, 2009). Somente na América do Sul, tem-se 60 milhões de habitantes nessa condição (Borlaug, 2007). Com a elevada relação entre retirada e disponibilidade hídrica mundial (Alcamo et al., 2003) e a maior concentração e menor regularidade das chuvas, na era “antropocêntrica”, o cultivo em sequeiro prevalecerá como o principal sistema de produção de alimentos (Parr et al., 1990) e a “água fóssil” seu principal recurso natural (Oki & Kanae, 2006). A permanência dos produtores no campo ocorrerá mediante sistemas de produção que se alicercem na teoria da “gota por grão” (crop per drop) (Molden et al., 2003; Passioura & Angus, 2010). Esta teoria tem por base a eficiência do uso da água (EUA) como principal indicador do equilíbrio existente em um determinado sistema de produção de alimentos, principalmente, no tocante a exploração mais eficiente da “água verde” (umidade do solo).

O Estado do Rio Grande do Sul, na região subtropical brasileira, participa expressivamente na produção de carne e grãos do país (CONAB, 2012), contribuindo nos fluxos de vapor globais (Gordon et al., 2005). A despeito da expansão da adesão do SPD no Brasil (Landers, 2001; Boddey et al., 2010), a diversificação do sistema de produção de alimentos, como os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPAs), traz maior flexibilidade ao produtor (Sulc & Tracy, 2007). Avanços na compreensão do funcionamento

do SIPA passam pelo desprendimento da visão cartesiana, no qual o animal funciona como catalisador no sistema solo-planta-animal-máquina-atmosfera (SPAMA), modificando as taxas e os fluxos dos processos sistêmicos (Anghinoni et al., 2013).

Dois aspectos convergentes têm sido alvo da pesquisa, a despeito dos impactos do SIPA no SPAMA no longo prazo: a compactação do solo e a disponibilidade hídrica. Discussões isoladas parecem insuficientes para entender o sinergismo resultante de retroalimentações (Ryschawy et al., 2012) e funções ecossistêmicas em SIPAs (Hendrickson et al., 2008).

A avaliação do estado de compactação do solo (Hakansson et al., 1988) requer cautela, pela dificuldade no entendimento da sua relação com o rendimento das culturas (Collares et al., 2008) e da não existência de uma “condição física universal ótima” do solo e de um “reservatório” hídrico em um sistema aberto (Letey, 1985). O intervalo hídrico ótimo (IHO), indicador físico-hídrico, gerado a partir do conceito de faixa não limitante de teor de água (Letey, 1985), tem sido uma ferramenta preconizada objetivando avaliar a “fertilidade física” do solo (Silva et al., 1994). A densidade do solo (D_s), estimador do IHO, delimita as condições favoráveis ($D_s < D_{s_{CIHO}}$) e críticas ($D_s > D_{s_{CIHO}}$) ao desenvolvimento das plantas (Silva & Kay, 1997; Orellana et al., 1997). No Brasil, inúmeros trabalhos já foram conduzidos utilizando o IHO para avaliar a qualidade do solo em sistemas de manejo (Cavaliere et al., 2006; Leonel et al., 2007; Beutler et al., 2008; Blainski et al., 2009; Petean et al., 2010), porém, poucos procuraram associar o IHO com a resposta das culturas. Quando o fizeram, os resultados divergiram, havendo (Silva et al., 1994) e não havendo (Kaiser et al., 2009) influência do indicador na produtividade das culturas. Tem havido alterações no entendimento relacionado a forma na qual o pastejo altera a organização do solo em SIPAs (Anghinoni et al., 2013). Intensidades de pastejo moderadas, adequadas às condições edafoclimáticas e ao sistema de produção em questão, viabilizam acúmulos de carbono orgânico e não restringem a exploração radicular do solo pelas demais culturas participantes.

Assim, alteram-se os impactos do ciclo de pastejo no rendimento das culturas subsequentes, inclusive com rendimentos de grãos pós-pastejo superiores aos observados em áreas não pastejadas (Moraes et al., 2013).

Dentre os fatores que constroem essa reorganização ao longo do tempo em SIPAs bem manejados, Carvalho et al. (2010) apontam as propriedades emergentes, como a agregação do solo e a diversidade microbiana, fundamentais para viabilizar e enquadrar o SIPA como um sistema com intensificação sustentável.

O conceito de água disponível (AD) tem sido muito questionado em função de seus limites, a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) (Reichardt, 1998; Ruiz et al., 2003), e dos fenômenos que ocorrem no processo de absorção hídrica pelas raízes (Gardner & Ehling, 1963; Reid et al., 1984; Carlesso, 1995), como a histerese (Taylor & Aschroft, 1972; Horton et al., 2009). No SIPA, alterações nas propriedades físico-químicas do solo decorrentes da elasticidade do esterco (Hamza & Anderson, 2005), o aumento na resistência a perdas de água por evaporação resultante do adensamento parcial da superfície do solo no processo de sua secagem (Tormena et al., 1998; Veiga et al., 2010), e as modificações funcionais (Krümmelbein et al., 2006; Reszkowska et al., 2011; Moreira et al., 2012) e estruturais (Richard et al., 2001; Martinez & Zinck, 2004) devido ao pisoteio, explicam a possível compactação “benéfica” do solo (Bouwman & Arts, 2000). A insuficiência das avaliações empíricas em sistemas que apresentem resiliência (Logsdon & Karlen, 2004; Lipiec et al., 2003; Martinez & Zinck, 2004), reforça a necessidade de aprofundamento no entendimento da sua funcionalidade (Alaoui et al., 2011), preenchendo a lacuna entre processos fisiológicos e físico-químicos (Zou et al., 2000; Groenveld et al., 2001).

A dificuldade em mensurar o estado hídrico das plantas no *continuum* solo-planta-atmosfera advém da complexidade dos processos que ocorrem na interface solo-raiz (Levin et al., 2007). A utilização de parâmetros fisiológicos das plantas, como a TF e o Ψ_{wf} , tem ganho destaque na avaliação da percepção das mesmas às condições hídricas no SPAMA (Kirkham, 2005).

O Ψ_{wf} representa a pressão hidrostática medida pela tensão de água no xilema (Kirkham, 2005), um sistema elástico e semipermeável (Scholander et al., 1964), avaliando o estado hídrico das plantas à campo (Jarvis, 1976). Em função do comportamento iso e aniso-hídrico (redução ou não acentuada nas horas mais quentes do dia) (Bergonci et al., 2000), com ajuste osmótico em reposta ao déficit hídrico (Tanguilig et al., 1987; Premachandra et al., 1992), o

Ψ_{wf} deve ser avaliado em dois períodos: ao meio-dia (Ψ_{wfb}) e antes do nascer do sol (Ψ_{wfm}). A disponibilidade hídrica (Oosterhuis et al., 1985), o ângulo das folhas (Rosa et al., 1991), a taxa fotossintética (Boyer, 1970a; Boyer, 1970b) e a condutividade foliar (Turner et al., 1978) se relacionam com esse parâmetro.

Por representar o balanço energético na planta, dependente do fluxo na interface dossel atmosfera (Jones, 2014, Idso et al., 1982), a TF pode representar o estado hídrico da soja, influenciando na transpiração (Smith et al., 1985) e afetando o rendimento (Jung & Scott, 1980). Na condição de equilíbrio com a temperatura do ar (TF=TA), “evaporação de equilíbrio” (Jones, 2014), a ΔT pode indicar o estado hídrico da planta (Ehrler, 1973, González-Dugo et al., 2005).

Por ser um “mal” inevitável, a transpiração das plantas, depende das condições edafoclimáticas (Kramer & Boyer, 1995). O déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (DPV folha-ar-real demanda transpiratória), função de TF, TA, umidade relativa do ar (dreno ou fonte atmosférica) e umidade do solo (dreno ou fonte da pedosfera), influencia o estado hídrico das plantas por três mecanismos: a) alterando a transpiração cuticular e estomatal, b) a condutância foliar e c) a taxa fotossintética (Bunce, 2006). A fotorrespiração e a senescência (Stevenson & Shaw, 1970) e o comportamento estomático da soja (Lange et al., 1971; Carlson et al., 1972) dependem da DPV folha-ar, influenciando a extração hídrica do solo (Pan, 1996).

Faz-se, então, necessário, alterações no *status quo* das abordagens pertinentes a estudos relacionados à dinâmica da água no SPAMA, inserindo a transdisciplinaridade e envolvendo conhecimento da fisiologia, da agrometeorologia e dos solos (Pieruschka et al., 2010). O monitoramento da umidade do solo (Beem et al., 1998), da TF e Ψ_{wf} , concomitantemente, pode ser de extrema utilidade para avaliar o estresse hídrico, visto provocar alterações nos processos bioquímicos, fisiológicos e na estrutura de membrana celular (Yordanov et al., 2000). Permanece, ainda, a dificuldade da determinação da função de uma resposta observada onde, o estresse físico (mecânico) é mediado por respostas de caráter bioquímico (fisiológicas) (Bray, 1997).

O presente trabalho testará duas hipóteses: i) a inserção de indicadores fisiológicos na avaliação da condição hídrica do *continuum* solo-

planta-atmosfera promove melhorias quanto ao entendimento da resposta da cultura da soja ao efeito dos animais no SPAMA; ii) em condições de disponibilidades hídricas distintas, o IHO é insuficiente para explicar a resposta da soja, sendo necessário monitoramento da disponibilidade hídrica e do estado hídrico da cultura para avaliar a qualidade do sistema de manejo adotado.

Com isso, objetivou-se avaliar a eficiência do IHO e de indicadores fisiológicos, pelo monitoramento das condições fisio-edafoclimáticas, para compreender a influência do pastejo e suas intensidades, em um Latossolo Vermelho distroférico manejado há 11 anos com sistema integrado de produção com soja e bovinos de corte em plantio direto, na produtividade da soja.

4.2. Material e métodos

No Capítulo II, a área experimental, seu histórico e a condução do protocolo foram descritos, de maneira que somente serão abordados nesta seção, as condições, as amostragens e as análises referentes ao período utilizado para este trabalho.

No presente estudo, devido ao objetivo de avaliar o impacto do pastejo no SPAMA, foram somente avaliados, dentro do primeiro bloco, somente três tratamentos: sem pastejo (referência); pastejo intenso, com altura de 10 cm; e o pastejo moderado, obtido pela média das alturas de 20 e 30 cm, respectivamente. A escolha das respectivas intensidades de pastejo resultou de conclusões obtidas ao longo dos anos, nesse protocolo, de que intensidades elevadas, 10 cm, e moderadas, entre 20 e 30 cm, representam o manejo inadequado e adequado, respectivamente, para manutenção do equilíbrio nos fluxos energéticos neste sistema de produção de alimentos (Anghinoni et al., 2013).

As avaliações de solo e planta foram realizadas no período compreendido entre a saída dos animais, em 01/11/2011, até a colheita da soja em 31/03/2012. Na Tabela 3, é apresentada a descrição do ciclo de pastejo que antecedeu o cultivo da soja, abordando tanto aspectos fitotécnicos como zootécnicos.

Tabela 3. Características da pastagem e do desempenho animal no ciclo de pastejo de 2011 (São Miguel das Missões RS)

Característica	Pastejo		
	Intenso	Moderado	Sem
<i>Pastagem</i>			
Massa fresca (Mg ha ⁻¹)	1,08	2,23	4,31
Taxa de acúmulo ¹ (kg MS ha ⁻¹ dia ⁻¹)	35,6	34,0	52,4
Produção total de matéria seca (Mg ha ⁻¹)	5,08	6,05	6,00
Resíduo (Mg ha ⁻¹)	1,13	2,95	6,29
Altura real (cm)	12,6	26,2	43,00
<i>Animal</i>			
Ganho médio diário ¹ (kg PV animal ⁻¹)	1,29	1,00	-
Ganho por área ¹ (kg PV ha ⁻¹)	479	359	-
Carga animal ¹ (kg PV ha ⁻¹)	818	653	-

¹ Média durante 150 dias de pastejo. MS = matéria seca. PV = peso vivo.

Na safra 2011/12, foi semeada a cultivar de soja Nideira 6411, que ocorreu no dia 16 de novembro. Essa cultivar possui crescimento determinado e ciclo de 121 a 139 dias, enquadrando-se no grupo de maturação semi-precoce (Stefanello & Bonetti, 2011). Foi utilizado o espaçamento de 45 cm e uma densidade de semeadura de 16 sementes por metro. As sementes foram inoculadas com bactérias do gênero *Rhizobium* e tratadas com fungicida e micronutrientes. Foram aplicados 240 kg ha⁻¹ a lanço da fórmula 0-25-25, de acordo com a análise de solo e recomendação da CQFS RS/SC (2004) para uma expectativa de rendimento de 4 Mg ha⁻¹.

Para o presente trabalho, em função do tamanho das parcelas, em média de 1,8 ha (Conte, 2011), todas as amostragens foram realizadas no primeiro bloco, pela necessidade de avaliações concomitantes no campo, como o monitoramento do Ψ_f e TF (Jones, 2014) e a umidade do solo. Desta forma, caso fosse realizada a avaliação de todo o protocolo, levaria a intervalos grandes entre amostragens e análises que, certamente e, em muito, afetariam a confiabilidade e a representatividade dos dados coletados.

Para a construção do IHO, entretanto, foi necessária a avaliação de todos os tratamentos, visto a necessidade de uma ampla gama de valores de Ds (Silva et al., 1994). As amostras de solo foram coletadas um dia após a saída dos animais da área experimental, em 02/11/2011, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm, nos tratamentos de 10, 20, 30 e 40 cm, além da área de referência (sem pastejo).

Após a saída dos animais, foram abertas trincheiras com dimensões de (100 x 60 x 60 cm) e coletadas quatro amostras indeformadas por camada de solo (totalizando 100 amostras), ao lado da linha de semeadura, em anéis volumétricos com dimensões de 0,057 m de diâmetro e 0,04 m de altura. Posteriormente, as amostras foram cuidadosamente envolvidas em filme plástico, acondicionadas em caixa de isopor e transportadas para o Laboratório de Física de Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Das mesmas trincheiras, adjacentes aos anéis coletados, foram coletadas amostras indeformadas (torrões) para diagnosticar as condições químicas, físicas e mineralógicas do solo (Apêndices 2, 3, 4 e 5). Para a caracterização dos atributos químicos do solo, utilizaram-se os dados levantados em novembro de 2012, por Martins (2013) de acordo com metodologias de Tedesco et al. (1995). Quanto a caracterização mineralógica (difratometria de raio X), foram utilizadas amostras das camadas de 0-20 e 20-50 cm.

A determinação da resistência à penetração (RP), densidade do solo (D_s) e umidade volumétrica (Θ_v), foi realizada a partir dos anéis coletados, enquanto as análises referentes à estabilidade de agregados, carbono orgânico e suas frações no solo e caracterização química e mineralógica foram realizadas nos Laboratórios de Química e Fertilidade, de Mineralogia e de Erosão do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

4.2.1. Análises de solo

Para determinar o IHO, as amostras de solo foram saturadas e submetidas às tensões de 0,001, 0,006 e 0,01 MPa em coluna de areia (Reinert & Reichert, 2006) e de 0,03, 0,1, 0,5 e 1,5 MPa em câmaras de Richards (Klute, 1986). Em cada tensão, 14 amostras, provenientes das diferentes intensidades de pastejo, 10, 20, 30 e 40 cm, e da área não pastejada (SP), nas camadas avaliadas, 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm, respectivamente, eram agrupadas de maneira que em cada tensão houvesse

uma amplitude de valores de D_s . As amostras eram removidas após o equilíbrio, pesadas e submetidas ao teste de RP.

A RP nas amostras foi medida por um penetrômetro eletrônico de bancada com haste metálica e com área basal de 129 mm^2 , diâmetro de base de 12 e ângulo de 30° (Reinert et al., 2007), a uma velocidade constante de 10 mm min^{-1} . A D_s e a Θ foram calculadas após obtenção de massa de solo seco a 105°C por 24 horas. Aos dados de RP, D_s e Θ foi ajustado o modelo de Busscher (1990): $RP = aD_s^b \Theta^c$, sendo a, b e c os coeficientes de ajuste.

A curva de retenção de água (CRA) foi obtida das mesmas amostras utilizadas para medição da RP. Assim, a umidade das amostras foi quantificada sem alteração da estrutura do solo no teste de penetração. Aos dados de Θ , Ψ e D_s foi ajustado o modelo de CRA amplamente utilizado no IHO, conforme descrito em Leão et al. (2005): $\Theta = \text{EXP}(d+eD_s)\Psi^f$, sendo d, e, f os coeficientes de ajuste.

O IHO foi determinado, conforme descrito por Leão et al. (2005). Para o limite superior, foi utilizado a Θ na Ψ de 0,01 MPa (θ_{CC}) ou para uma porosidade de aeração de 10% (θ_{PA}). Para o limite inferior, foram usados as Θ para RP de 2 MPa (θ_{RP}). Dos anéis coletados, foram obtidos os valores de densidade de partículas (D_p), utilizando a metodologia do balão volumétrico modificado (Gubiani et al., 2006), para posterior obtenção da porosidade total (P_t) pela equação: $P_t = 1 - (D_s/D_p)$.

O IHO foi calculado como a diferença entre o limite superior e inferior dos conteúdos de água para os parâmetros físicos considerados. O limite superior é o menor valor de Θ considerado na CC ou na PA de 10%, e o limite inferior é o maior valor de Θ na RP de 2,0 MPa ou no PMP. O ajuste dos modelos de resistência e de retenção de água foi feito por meio do PROC REG (SAS INSTITUTE, 1999).

4.2.2. Monitoramento da umidade do solo e estado hídrico das plantas

Após a saída dos animais (01/11/2011) até a colheita da soja (31/03/2012) foi realizado o monitoramento da umidade do solo (Θ_v) e do estado hídrico das plantas de soja.

Para determinação da Θ_v , uma vez por dia ao longo de uma semana de cada mês, amostras deformadas de solo foram coletadas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm, respectivamente. A umidade gravimétrica do solo foi obtida pela metodologia da estufa segundo EMBRAPA (1997). Após obter a umidade gravimétrica (U_g) (kg kg^{-1}), obteve-se a umidade volumétrica (U_v) pela seguinte equação: $U_v = U_g / (D_s / D_a)$ onde: D_s = densidade do solo (Mg m^{-3}) e D_a = densidade da água (1 Mg m^{-3}); a das respectivas camadas para obter umidade volumétrica Θ_v ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$).

O estado hídrico da soja, o potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}) e a temperatura da folha (TF) da planta, foram avaliados em dois períodos, das 04:00 às 06:30 h (Ψ_{wfb} e TF_b) e das 11:30 às 13:30 h (Ψ_{wfm} e TF_m). Foram realizadas quatro repetições (plantas) de cada tratamento, sendo que a TF foi obtida pela média de três leituras da mesma planta. Cabe ressaltar que a TF e Ψ_{wf} foram obtidas da mesma planta. A TF foi medida por termômetro infravermelho com amplitude térmica de -10 a 60 °C, emissividade padronizada em 0,98 e um campo de visão de 2.8^0 . Os valores de TF foram medidos a aproximadamente 15 cm do centro da superfície da folha adaxial. As avaliações foram realizadas somente nas folhas do terço superior que recebiam radiação solar, assegurando uniformidade nas mensurações (Baldocchi et al., 1985). Esta metodologia é não invasiva, sendo mais adequada para a avaliação da TF em relação ao uso de sensores (termopares) (Berliner et al., 1984).

O Ψ_{wf} foi medido após a obtenção da TF no campo, em câmara de pressão do tipo Scholander (Soil moisture), conforme descrito por Boyer (1967). As medições realizadas no período da manhã foram consideradas como potencial de base (Ψ_{wfb}).

4.2.3. Monitoramento meteorológico

Em novembro de 2011, foi instalada uma estação meteorológica Nexus modelo 35.1075.1 dentro da área experimental. A estação forneceu dados referentes aos eventos pluviais, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento e temperatura do ar. A partir desses dados se obteve a

distribuição pluviométrica, da temperatura e da umidade relativa do ar ao longo do ciclo da soja (Figura 3).

A partir dos dados obtidos pela estação meteorológica foi calculado o déficit de pressão de vapor entre a atmosfera e a planta $DPV_{\text{folha-ar}}$, segundo Jones (2014), pelas seguintes equações:

$$DPV_{\text{ar-ar}} = 613,75 \exp\left[\frac{17,502 \cdot T_a}{240,97 + T_a}\right] - \left\{h \cdot 613,75 \exp\left[\frac{17,502 \cdot T_a}{240,97 + T_a}\right]\right\}$$

$$DPV_{\text{folha-ar}} = DPV_{\text{ar-ar}} + S (T_f - T_a)$$

Onde; T_a = Temperatura do ar; T_f = Temperatura da folha; S = inclinação da curva de pressão de vapor de saturação.

4.2.4. Rendimentos de grãos da soja

O rendimento de grãos da soja foi avaliado pela coleta de 4,5 m² subparcela⁻¹ (5 linhas x 2 m), em todos os tratamentos, corrigindo-se a umidade para 13%.

4.2.3. Análises estatísticas

Em função da utilização de um bloco experimental somente, os resultados do presente estudo foram analisados como um delineamento inteiramente casualizado, considerando-se como repetições as unidades amostrais retiradas ao acaso dentro de cada tratamento (pseudorrepetições) (Ferreira et al., 2012). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e análise de contraste com nível de significância de 0,05 pelo programa SAS (2002). O seguinte modelo estatístico foi utilizado para a ANOVA:

a) Densidade do solo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \text{erro a} + C_j + \text{erro b} + TC_{ij} + \text{erro c} (ijk)$$

Onde: μ = média geral dos tratamentos; T_i = tratamentos de pastejo ($i = 1, 2, 3$); C = camadas do solo avaliadas ($j = 1, 2, 3, 4$ e 5), k = unidades amostrais e erro = erro experimental, obtido pela interação entre os tratamentos, conforme proposto por Anderson & McLean (1974).

b) Estado hídrico da planta de soja e DPV folha-ar

Para as avaliações fisiológicas e meteorológicas os períodos foram analisados separadamente (manhã e tarde), utilizando-se o seguinte modelo.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \text{erro a} + D_j + TD_{ij} + \text{erro b} (ijk)$$

Onde: μ = média geral dos tratamentos; D = dia da amostragem (j = 1, 2, 3, 4, 5); T = intensidades de pastejo (k = 1, 2, 3); Unidades amostrais (k = 1, 2, 3, 4); e erro = erro experimental.

Foi avaliado o impacto da relação $D_s/D_{sc_{IHO}}$ no rendimento da soja e sua relação com a umidade do solo e a distribuição pluviométrica na safra na safra 2011/12, assim como foi realizada uma abordagem da relação $D_s/D_{sc_{IHO}}$ com o rendimento da soja nas safras 2003/04 a 2006/07, em função da disponibilidade de dados de D_s disponíveis. Nesta abordagem, a razão $D_s/D_{sc_{IHO}}$ foi calculada utilizando a D_s e $D_{sc_{IHO}}$ obtida neste trabalho e valores de D_s , na mesma época de avaliação e camadas do solo, porém, em outras safras (Conte et al., 2011).

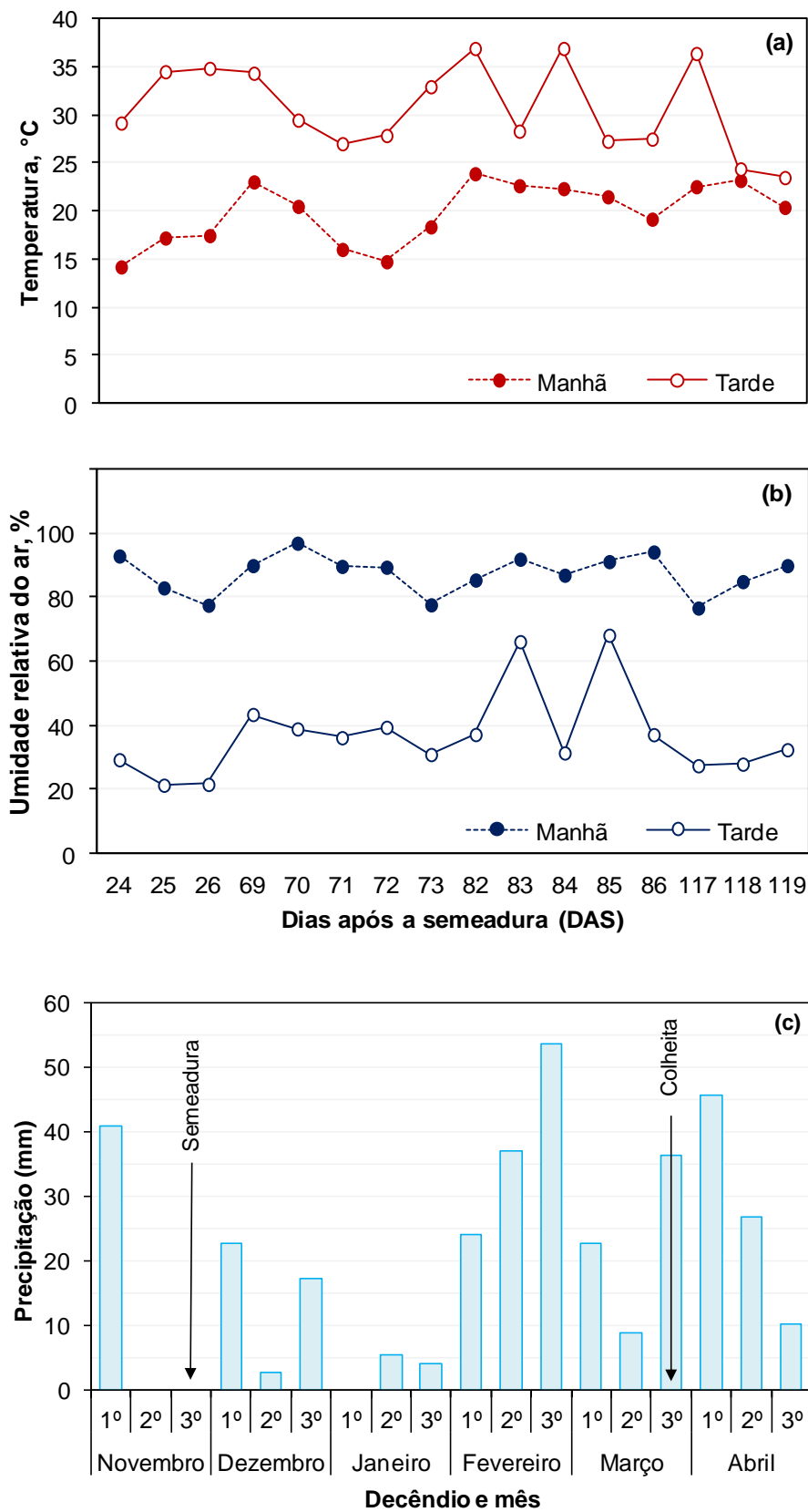


Figura 3. Temperatura (a), umidade relativa do ar - URA (b) e precipitação pluviométrica (c) no ciclo da soja na safra 2011/12 na área experimental (São Miguel das Missões RS).

4.3. Resultados e discussão

4.3.1. Intervalo hídrico ótimo, parâmetros físicos e umidade do solo

A Ds e a RP apresentaram variação suficiente de valores (Figura 4), necessários à parametrização da curva de retenção de água (CRA) e de resistência do solo (CRS). Desta forma, a Ds foi utilizada como variável independente na CRA e CRS e no IHO, obtendo-se as seguintes equações a partir dos modelos ajustados à totalidade dos dados obtidos (n=98) das intensidades de pastejo e da área sem pastejo.

$$\theta = \text{EXP} (-0,5877-0,6882Ds) \psi^{-0,1016} \quad R^2 = 0,98$$

$$RP = 0,3338 \theta^{-0,7971} Ds^{2,7067} \quad R^2 = 0,98$$

nas quais:

θ = conteúdo volumétrico de água no solo (m^3m^{-3});

Ψ = tensão de água no solo (MPa);

RP = resistência do solo à penetração (MPa);

Ds = densidade do solo (Mg m^{-3}).

O coeficiente de determinação ($R^2 = 1 - \text{SQ res\acute{u}duos/SQ total corrigida}$) foi de 0,98 para ambos os modelos de CRA e CRS que foram significativos pelo teste t na significância $p < 0,01$. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Imhoff et al. (2000), $R^2 = 0,95$ e Silva et al. (2008), $R^2 = 0,91$, mas superiores aos observados por Gubiani et al. (2013), para a mesma classe de solo, que obtiveram valores de 0,67 e 0,88, respectivamente, para essas duas variáveis, embora significativos pelo teste t ($p < 0,001$).

O IHO é representado pela área em destaque na Figura 4, tendo sido definido em limite superior pela Θ_{cc} e em seu limite inferior pela Θ_{pmp} ou Θ_{rp} . No Brasil, onde predomina o cultivo em solos bem drenados, a RP tem sido mais restritiva ao desempenho das culturas (Beutler et al., 2006; Kaiser et

al., 2009) que a PA (Lapen et al., 2004). O comportamento observado no presente estudo corrobora com o observado pelos autores acima, no qual a Θ_{pa} não limitou o IHO (Figura 4).

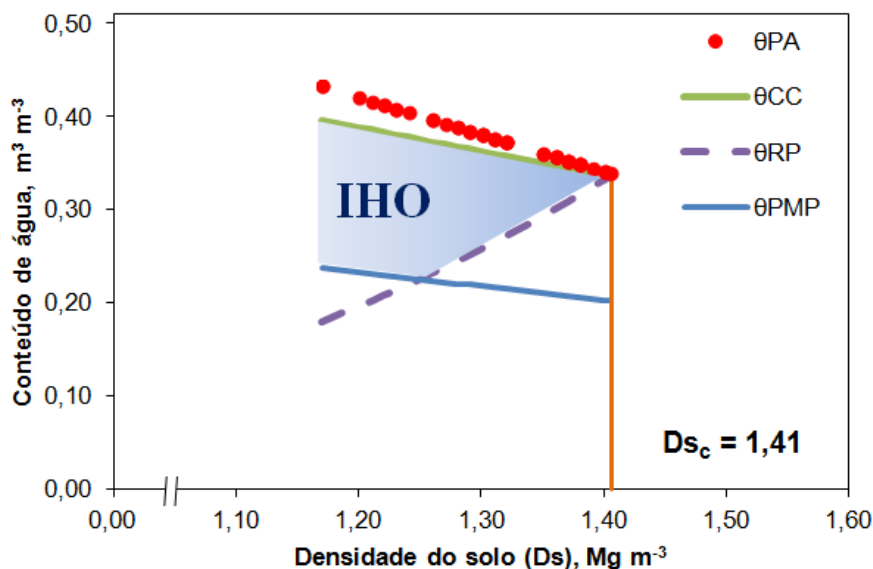


Figura 4. Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade campo (θ_{cc}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), resistência à penetração (θ_{RP}) e porosidade de aeração (θ_{PA}) em função da densidade do solo na camada de 0-50 cm em Latossolo Vermelho distroférrico no sistema integrado soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo.

A densidade crítica ($D_{sc_{IHO}}$), correspondente ao valor de D_s no qual o IHO é igual a zero, definida pelas inserções das equações que determinam seus limites, superior e inferior, foi de $1,41 \text{ Mg m}^{-3}$ (Figura 4). Este valor, no presente estudo, corresponde a interseção da θ_{cc} com a θ_{rp} , com o IHO apresentando uma amplitude de 0 até $0,17 \text{ cm}^{-3} \text{ cm}^{-3}$. O IHO diminuiu com aumento da D_s , sendo que até o valor $1,25 \text{ Mg m}^{-3}$ foi limitado pela θ_{pmp} e, a partir deste valor, pela θ_{rp} (Figura 4). A $D_{sc_{IHO}}$ de $1,41 \text{ Mg m}^{-3}$ corrobora com valor calculado a partir da associação da D_{sc} com o teor de argila do solo, cuja equação é $D_{sc_{IHO}} = -0,00078^* \text{ Argila} + 1,83803$ ($r^2=0,92$) (Reichert et al., 2009).

Em solos com textura semelhante em sistemas de pastejo contínuo e rotacionado, embora mineralogia distinta, Leão et al. (2004) obtiveram $D_{sc_{IHO}}$ semelhante ($1,43 \text{ Mg m}^{-3}$). Todavia, esses autores utilizaram o valor crítico de RP de $3,0 \text{ MPa}$ (Lipiec & Hakansson, 2000). Quando da utilização dos mesmos

limites utilizados no presente estudo e, em solo de textura semelhante, Kaiser et al. (2009) chegaram a um valor muito próximo, de $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$.

A textura (Carducci et al., 2011), a mineralogia da fração argila (Kertzman, 1996) e as camadas utilizadas para a obtenção do IHO devem ser consideradas, pois influenciam a dinâmica físico-hídrica no solo. Assim, um fator relevante que contribuiu para os comportamentos distintos da D_s no perfil do solo em função das intensidades de pastejo e ausência do mesmo foi a diferença nos teores de argila no perfil do solo (Apêndice 3.) De um modo geral, foram observados teores mais elevados de argila nas camadas mais profundas (abaixo de 10 cm), especialmente no SP, que apresentou valores iguais ou superiores a $D_{s\text{CIHO}}$ (Figura 5).

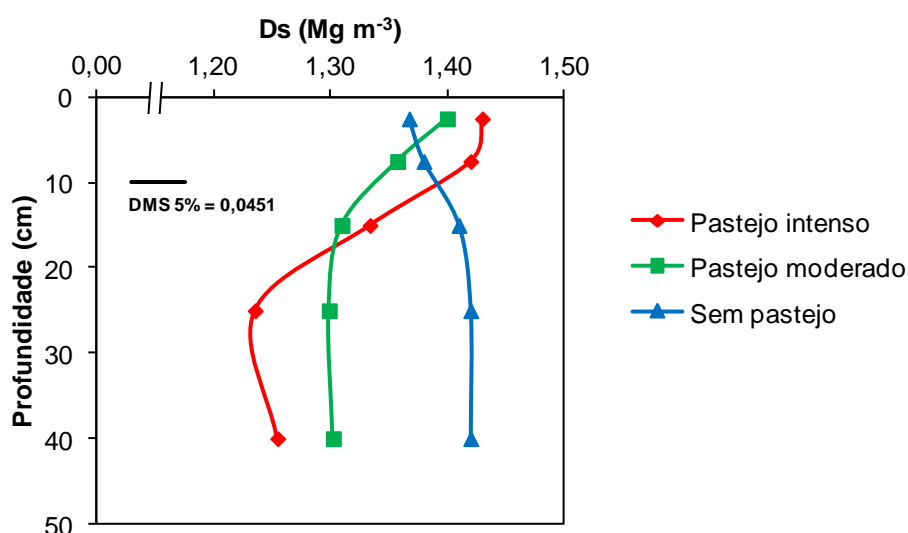


Figura 5. Densidade do solo (D_s) no perfil de Latossolo Vermelho distroférico em sistema integrado soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo. Barra na horizontal representa a diferença mínima significativa pela análise de contrastes a 5% de significância.

Um ponto importante a ser levado em consideração é o entendimento da relação entre os valores de D_s e a $D_{s\text{máx}}$, na qual ocorreria a compactação extrema do solo. Assim, usando a equação sugerida por Marcolin & Klein (2011) para calcular a $D_{s\text{máx}}$ obtido pelo teste de Proctor, em função do teor de argila ($59 \pm 5\%$), $D_{s\text{máx}} = -0,0092^* \text{ Argila} + 2,0138$ ($r^2=0,90$), a $D_{s\text{máx}}$, do Latossolo avaliado, encontraram o valor de $1,47 \text{ Mg m}^{-3}$. Comparando os dados obtidos em solos com textura distinta, observa-

se que a densidade relativa (D_s/D_{smax}) de ambos, de acordo com a equação acima foi, em média, de 95%.

O momento da coleta do solo para obtenção da D_s é um ponto importante a ser considerado, principalmente em SIPA, no qual a presença do animal cria uma condição única após o pastejo (Moreira et al., 2012). Isto, aliado à variabilidade temporal da D_s e, conseqüentemente, do IHO (Tormena et al., 2007), evidencia a dificuldade em relativizar a D_s .

Quanto ao uso de diferentes RP limitantes, existem controvérsias àquela crítica ao desenvolvimento das culturas, visto a especificidade quanto à espécie em questão e dos processos que ocorrem na rizosfera (Gregory, 2000). Desta maneira, Cavalieri et al. (2006) e Klein & Camara (2007) destacaram a insuficiência do uso de 2 MPa para a cultura da soja. Em solos argilosos, como do presente estudo, a umidade do solo onde a sua RP é considerada restritiva é o fator que mais reduz a amplitude do IHO (Imhoff et al., 2001), em função da sua maior variação com a alteração da D_s . O aumento no limite crítico da RP redundava em ampliar o secamento do solo sem haver restrições mecânicas às plantas, uma vez que, em sistemas conservacionistas, há uma maior incidência de bioporos (Betioli Junior et al., 2012).

Por outro lado, de acordo com Gubiani et al (2013), a dificuldade de relacionar a resistência mecânica (RP) e o crescimento das plantas, demanda a delimitação da faixa de conteúdo de água em que predomina o efeito do estresse mecânico. Dentro desta linha, a abordagem fisiológica, apresentada adiante, auxiliará no entendimento da discordância entre o comportamento da planta e os parâmetros físicos utilizados no IHO.

O arranjo entre os minerais afeta a agregação e a estrutura do solo, influenciando (Ferreira et al., 1999) ou não (Giarola et al., 2002) na sua D_s e capacidade de suporte de carga (Spoor et al., 2003). O aumento no teor de óxidos, caracterizados por densidades elevadas (3,0 a 5,3 $Mg\ m^{-3}$) (Schwertmann & Taylor, 1989), aumenta a D_p e, conseqüentemente, a porosidade total.

O rearranjo estrutural do solo ao longo do tempo em sistemas conservacionistas depende da sua textura, onde o teor de argila afeta grandemente no grau de compactação do solo (Kay et al., 1997). A diferença nos teores de argila no perfil do solo avaliado (Apêndice 3) ilustra a ocorrência

de condições físico-hídricas distintas, mesmo em se tratando de um solo profundo e com perfil aparentemente homogêneo (Streck et al., 2008).

Partindo do pressuposto que o IHO avalie a qualidade física do solo pela D_s , utilizou-se o comportamento desse atributo no perfil do solo, em função das intensidades de pastejo, para mensurar os impactos dos manejos adotados no sistema SPAMA (Figura 5).

A D_s no perfil do solo (0-50 cm) foi influenciada pelo pastejo e suas intensidades (Figura 5). Na camada mais superficial (0-5 cm), a D_s aumentou com a intensidade de pastejo (pastejo intenso > pastejo moderado > SP). Independentemente do manejo do pasto, a presença animal resultou, em valores de D_s iguais (nessa camada), para o pastejo moderado e maior, para o pastejo intenso, à D_{scIHO} (Figura 5). No entanto, na camada de 5-10 cm, apenas a D_s no pastejo intenso foi superior à D_{scIHO} , com valores semelhantes para o SP e o pastejo moderado. Percebe-se que o impacto do pastejo na compactação do solo ocorreu até a profundidade de 10 cm.

O impacto do manejo do pastejo (altura do pasto) na D_s nas camadas mais superficiais, até 10 cm, é inevitável em sistemas integrados de produção (Moraes et al., 2013). O aumento na carga animal não apenas resulta em pressões mais elevadas no solo (carga animal/área de casco) (Willat & Pullar, 1984; Greenwood & McKenzie, 2001), como também, em função da menor produção de resíduo, que reduz a capacidade da liteira de atenuar as cargas aplicadas nas camadas superficiais (0-10 cm) do solo (Dao, 1996; Debiasi et al., 2008). A cobertura do solo pelos resíduos aumenta a armazenagem hídrica, trazendo melhorias no processo de fixação biológica de N, que retroalimenta o sistema, pelo fornecimento desse nutriente para as plantas, essencial para o processo fotossintético (produção de biomassa) (Siczek & Lipiec, 2011). Conseqüentemente, há um aumento da superfície coberta, atenuando a transmissão de cargas ao solo. Embora, neste protocolo, a massa de nódulos tenha sido maior no pastejo intenso, a compensação promovida pelo número de nódulos (Ferguson et al., 2010), resulta em uma massa total de nódulos semelhante entre as áreas pastejadas e não pastejadas (Kunrath, 2011).

Tanto a baixa quantidade quanto o excesso de resíduos podem reduzir a EUA do sistema, seja pelas perdas evaporativas como pelas

dificuldades na operação de semeadura da cultura subsequente (Wall & Stobbe, 1984). No longo prazo, no protocolo em questão, tem havido efeito benéfico do pastejo moderado no acúmulo de carbono no solo (Anghinoni et al., 2013).

O impacto do pastejo intenso em Latossolo manejado com sistema integrado de produção agropecuária, pode provocar, segundo Petean et al. (2010) uma maior proporção de valores de D_s maiores que a $D_{s_{C_{IHO}}}$. Cabe destacar que o aumento na D_s em função da pressão de pastejo foi, neste estudo (Figura 5), maior na camada mais superficial (0-7,5 cm) em relação à camada abaixo (7,5–15 cm). Greenwood & McKenzie (2001) afirmam que o aumento na D_s com aumento na intensidade de pastejo é ocasionado pelo pisoteio e não pelo processo de desfolha, independentemente das condições edafoclimáticas ou do sistema de pastejo adotado.

Em sentido oposto, o mesmo impacto do pastejo na D_s nas camadas superficiais é responsável pela resposta inversa nas camadas subsuperficiais, abaixo de 20 cm de profundidade. De acordo com Sánchez-Giron (1996), a compactação subsuperficial é aquela que ocorre a profundidades maiores que 30 cm. Ao longo do tempo de pastejo, mediante processos hidráulicos e mecânicos, é gerado um novo nível de organização no solo, com arranjo diferenciado na geometria e continuidade de poros, no qual a resistência do solo à transmissão de cargas vertical (bioporos) é maior que a horizontal (Alaoui et al, 2011). Segundo estes autores, o efeito “guarda-chuva” não permite a transferência das cargas aplicadas para as camadas subsuperficiais. Este novo nível organizacional é definido pela estrutura de “poros remanescentes” (Richard et al., 2001), resultante da destruição dos poros estruturais pelo tráfego animal e de máquinas.

Embora uma única avaliação da D_s não seja suficiente para se afirmar que o fenômeno do efeito “guarda-chuva” esteja ocorrendo no protocolo em questão, principalmente porque outras avaliações deste parâmetro não contemplaram camadas de solo abaixo de 20 cm, o comportamento observado levanta questionamentos a despeito da redistribuição de cargas aplicadas no perfil do solo, abrindo espaço para discussão.

Possivelmente, o efeito “guarda-chuva” ocorra e seja mais pronunciado, em SIPAs, devido a dois aspectos: o predomínio dos impactos do

pastejo no solo nas camadas superficiais (Flores et al., 2009; Conte et al., 2010) e a menor utilização de maquinário agrícola, os quais, em função da largura dos rodados podem transmitir cargas para camadas mais profundas (Conte et al., 2009). Cuidado deve ser tomado ao avaliar a relação resíduo-solo-máquina, pois o tráfego de máquinas em condições de balanço positivo de energia (resíduo) pode aumentar a capacidade de carga na superfície do solo sem alterar a susceptibilidade do mesmo à compactação (Debiasi et al., 2008).

A relação solo-máquina deve ser incluída no processo de avaliação da qualidade do solo desses sistemas, visto que operações ao longo do ciclo de cultivo, não só compactam como, no caso da semeadura, podem resultar em volumes significativos de mobilização de solo (Conte et al., 2011), podendo atenuar os impactos do pisoteio animal. Assim, pode haver um sinergismo entre a profundidade de ação das hastes sulcadoras com o “efeito guarda-chuva” destacado anteriormente.

A profundidade de compactação varia de acordo com as especificações da máquina e seu rodado, condições do solo (umidade e grau de compactação), número de vezes em que o solo é trafegado e com seu histórico de pressões, além do manejo (pastagem, floresta ou agricultura) (Reichert et al., 2007). Todavia, no presente estudo, parece que a menor compactação do solo em superfície no SP possibilitou que as transmissões verticais das tensões no solo, oriundas das sucessivas passagens de maquinário (carga) sobre o solo ao longo dos 11 anos de sistema integrado de produção e mais de 20 anos de sistema plantio direto (Novak et al., 1992; Ess et al., 1998) e da elevada relação carga:eixo (Chamen et al., 2003), aumentassem os valores de D_s em profundidade em relação aos demais manejos (Figura 5).

É interessante lembrar que no sistema de produção em questão, o tráfego com máquinas se concentra no verão (novembro a fevereiro), uma vez que no ciclo de pastejo apenas as operações de semeadura da aveia e aplicação de N em cobertura são realizadas. Todavia, a compactação superficial e subsuperficial devem ser abordadas como processos distintos, na qual a subsuperficial é função da transmissão de cargas aplicadas na superfície, apresentando maior persistência em relação à subsuperficial (Alakukku et al., 2003, Hamza & Anderson, 2005). Aumenta-se a importância

do exposto, levando-se em conta o elevado custo e ineficiência dos processos mecânicos de descompactação subsuperficial do solo (subsolagem e escarificação), podendo, inclusive, aumentar a susceptibilidade do solo à recompactação (Alakukku et al., 2003; Hamza & Anderson, 2005).

A despeito do impacto do pisoteio animal nas camadas mais superficiais (Figura 5), avaliar o perfil do solo, contemplando camadas mais profundas, é indispensável para a otimização do sistema de produção adotado, principalmente quanto à exploração hídrica (Servadio et al., 2005). Segundo estes autores, quando atingem maiores profundidades, as tensões podem resultar em reorientação das partículas, reduzindo a proporção de poros alongados e, conseqüentemente, restringindo o fluxo vertical. Neste ambiente, a taxa de infiltração de água diminui, limitando o desenvolvimento radicular a camadas mais superficiais.

Até a profundidade de 20 cm, independentemente do manejo adotado, mesmo quando a D_s não superou a $D_{s_{IHO}}$, predominaram valores (90%) na faixa 1,30 a 1,38 $Mg\ m^{-3}$, onde o IHO decresce de forma quadrática em função de aumentos D_s (Figura 6). Esta relação negativa, segundo Silva et al. (1994), Tormena et al. (1999), Leão et al. (2005) e Cavaliari et al. (2006), Tormena et al. (2007), é crítica na avaliação do comportamento hídrico do solo, uma vez que, a amplitude do IHO influencia no desenvolvimento das plantas.

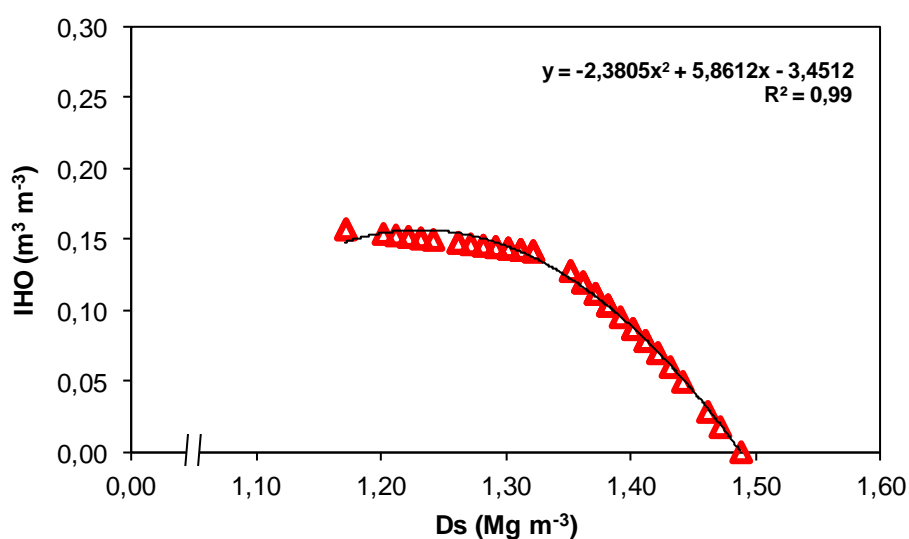


Figura 6. Variação do conteúdo de água com a densidade do solo em um Latossolo Vermelho distroférico no sistema soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo.

O monitoramento da umidade do solo ao longo do ciclo de cultivo da soja permitiu verificar como a mesma se enquadra dentro dos limites hídricos impostos pelo IHO, quais sejam, a capacidade de campo (Θ_{cc}) e o ponto de murcha permanente (Θ_{pmp}), respectivamente (Figura 7). Percebe-se, de um modo geral, que as condições oriundas do pastejo moderado e da ausência do pastejo (SP) mantiveram a Θ_v , no perfil do solo (0-50 cm), dentro da faixa de AD. Por outro lado, a Θ_v , até a profundidade de 10 cm, em condições de pastejo intenso, se manteve abaixo da Θ_{pmp} , desde a semeadura até o período de florescimento da cultura, em janeiro de 2012 (Figuras 7 a, b e c). Nas camadas superficiais, 0-5 e 5-10 cm nesse mesmo período, somente o SP e o pastejo moderado apresentaram Θ_v dentro da faixa de AD. Independentemente da intensidade, o pastejo contribuiu menos que o SP na manutenção da umidade do solo nos períodos de demanda crítica da cultura, florescimento (janeiro) e enchimento de grãos (fevereiro) (Figuras 7 c e d).

É importante ressaltar que o ciclo da cultivar semeada, que reflete na duração de cada estágio, é fator de variação no efeito da deficiência hídrica (Figura 7a) em determinado estágio (Runge & Odell, 1960). Desta forma, a constatação dos estágios fenológicos da cultura oriundas das observações realizadas a campo, uma vez que a cultura acelerou seu ciclo de desenvolvimento devido ao baixo volume de precipitação pluviométrica (Figura 3c) e umidade no solo (Figura 7). O mecanismo de aceleração no desenvolvimento da soja é explicado por Sionit & Kramer, (1977) como uma ferramenta para a sobrevivência (perpetuação) da espécie, em condições de estresse abióticos, como o hídrico.

Em fevereiro, mês com maior intensidade de chuvas (Figura 3c), houve, independentemente do manejo adotado, um aumento na Θ_v nas camadas superficiais, 0-5 e 5-10 cm (Figura 7d). Entretanto, em março (Figura 7e), somente a área sem animais manteve os níveis de umidade semelhantes ao mês anterior. Tal comportamento é crítico quando se avalia a resiliência hídrica do SPAMA, uma vez que a retenção e a disponibilidade hídrica no tempo tornam o sistema de manejo mais ou menos eficiente no uso da água.

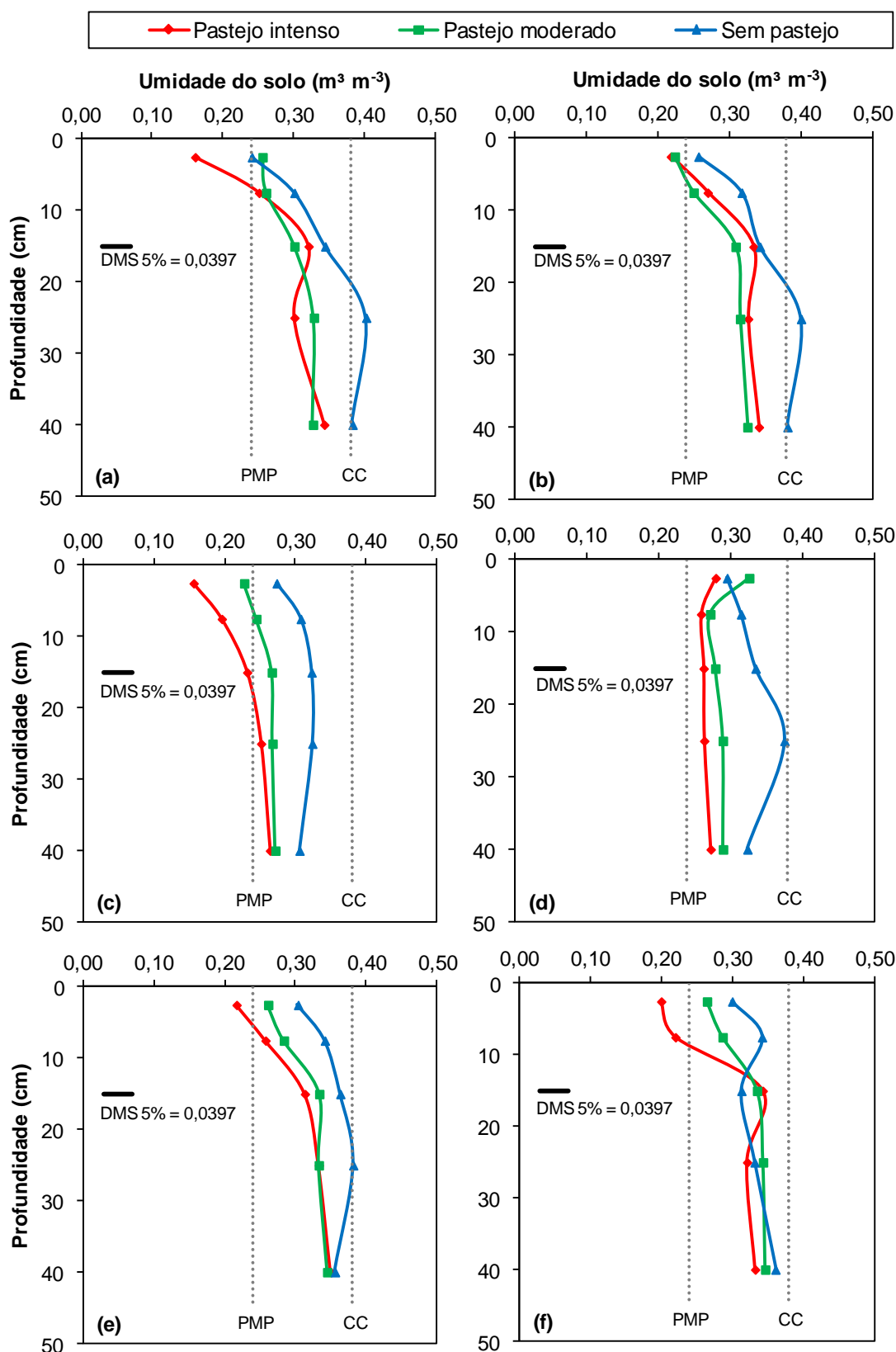


Figura 7. Umidade volumétrica ao longo do ciclo da soja, nos meses de novembro (semeadura – a), dezembro (b), janeiro (c), fevereiro (d), março (e) e abril (colheita – f), no perfil de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema soja-pecuária de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo. CC = capacidade de campo. PMP = ponto de murcha permanente.

O armazenamento hídrico ao longo do ciclo de pastejo, aumentando a quantidade de água residual, é imprescindível para aumentar a EUA em SIPAs com animais em pastejo (Passioura & Angus, 2010). Sistemas de produção que viabilizem volumes maiores de AR, conseqüentemente resultarão em PHs mais elevadas. Todavia, embora Mekonnen et al. (2011) afirmem haver uma correlação positiva entre a PH e a produtividade animal (pressão de pastejo), o maior armazenamento de água no sistema com pastejo moderado demonstra que cautela deve ser tomada quando da avaliação de produtividade animal e EUA em sistemas integrados. Em SIPA, o manejo adequado do pasto (pastejo moderado) pode influenciar na quantidade de água residual no sistema, uma vez que as forragens apresentam maior variabilidade, nessa dinâmica, quando comparadas a culturas de produção de grãos (Passioura & Angus, 2010). Assim, pressões adequadas de pastejo promovem equilíbrio na taxa de desfolha pela aceleração na taxa de crescimento das forrageiras (Lemaire et al., 2009), viabilizando uma extração hídrica mais eficiente.

Percebe-se que, em condições de pastejo intenso, as perdas hídricas são maiores, principalmente em superfície, visto a baixa quantidade de resíduos remanescentes do ciclo de pastejo (Tabela 5). A quantidade de forragem ofertada altera as taxas de infiltração e disponibilidade de água no solo (Bertol et al., 2000), tornando o resíduo da pastagem em SIPAs um diferencial quanto ao armazenamento hídrico no solo (Frazluebbers et al., 1995). A cobertura do solo tem como principal função a redução nas perdas hídricas por evaporação (Ritchie, 1981). Nesse sistema (SIPA), o manejo da janela de tempo entre os ciclos de pastejo e da soja influencia a EUA (Albuquerque et al., 2001). Segundo estes autores, diferentemente do que vem sendo utilizado no protocolo experimental, a rotação de culturas e uma maior janela de tempo entre a retirada dos animais e o estabelecimento da cultura de verão (soja), deve ser preconizada, embora com ressalvas devido a viabilidade prática de ajustes no manejo desta natureza. Por outro lado, em uma janela curta de tempo (algumas semanas), como no presente estudo, a cobertura do solo remanescente de um cultivo prévio se torna a ferramenta de manejo mais importante para viabilizar o estabelecimento da cultura subsequente (O'leary & Connor, 1997; Verburg et al., 2004).

A disponibilidade hídrica no momento da semeadura da soja influencia diretamente o estado da lavoura (Thomas & Costa, 2010), aumentando a necessidade de uma ciclagem hídrica eficiente no ciclo produtivo do sistema. A menor umidade do solo na camada superficial no pastejo intenso demonstra o baixo tamponamento hídrico desse manejo no SIPA. Quantificando a produção líquida de plantas (PLP) pela equação proposta por Jones (2004) onde: $PLP = \text{EUA} \times \text{suprimento hídrico} \times \text{proporção de água utilizada pelas plantas}$, o autor considera o suprimento hídrico como a somatória de irrigação, precipitação e umidade do solo no momento da semeadura (para culturas anuais), aumentando a magnitude do impacto da Θ_v nesta etapa do cultivo da soja.

A limitação energética do SPAMA, incluso nos processos de umedecimento e secagem solo (Gregory et al., 2000), advém da cobertura do solo e de sua textura. A manutenção da umidade nas camadas mais superficiais aumenta a extração hídrica, reduzindo as perdas evaporativas (Suleiman & Ritchie, 1981), podendo perfazer 75% da evapotranspiração (Gregory, 1991). Embora os dados demonstrem a importância dos resíduos na manutenção da umidade no solo, Verburg et al. (2012) salientam haver incertezas quanto à quantidade, ao tipo e à configuração dos resíduos em sistemas conservacionistas e seu impacto na dinâmica de água, como verificado por Klein et al. (2001).

A baixa umidade do solo no pastejo intenso nos períodos críticos de desenvolvimento da cultura da soja, florescimento e enchimento de grãos, não somente compromete o rendimento de grãos da cultura (Berlato et al., 2006), mas também o equilíbrio hídrico no SIPA. O pastejo, no presente ensaio, somente comprometeu os rendimentos da soja em anos com déficit hídrico (Martins et al., 2014). Considerando teores semelhantes de água nos grãos de soja, tem-se exportações semelhantes de água ao longo dos anos. Existe, então, a necessidade de aprofundamento quanto ao balanço hídrico nos sistemas com diferentes intensidades de pastejo e SP, uma vez que a profundidade de extração hídrica pela pastagem seguirá padrões distintos (Baumhardt et al., 2011).

Soma-se ao exposto, o estabelecimento de zonas de propriedades hidrodinâmicas homogêneas em solos em sistemas conservacionistas, no

longo prazo, (Santi et al., 2012). As alterações observadas no perfil do solo (até 50 cm) ao longo do ciclo da soja resultam da complexidade no processo de extração hídrica no solo, pela ocorrência simultânea dos processos de evaporação e redistribuição hídrica no solo e a influência do tempo de secagem (Dalmago, 2004). A maior oscilação da umidade do solo nas camadas mais superficiais, 0-5 e 5-10 cm nos manejos pastejados em relação ao SP, nos meses de maior demanda hídrica da cultura, janeiro e fevereiro, pode ser explicada pela ausência ou ineficiência do processo de redistribuição (ascensão) hidráulica. A inserção de leguminosas perenes em sistemas consorciados pode beneficiar a EUA em sistemas de produção gramíneas forrageiras (Skinner et al., 2004). Mesmo diante dos benefícios, no longo prazo, já observados do pastejo moderado no SIPA em questão (Moraes et al., 2013), a sucessão utilizada pode minimizar os benefícios trazidos pela partição no uso da água (Mekonnen et al., 2011).

O uso do limite inferior de 2,0 MPa no IHO apresentou restrições hídricas até a profundidade de 25 cm em um Latossolo argiloso, como o do presente estudo, em plantio direto (Kaiser et al., 2009). A variação temporal da umidade do solo e seu comportamento hídrico em plantio direto e sucessão de culturas dependem da Ds, ao passo que em sistemas com rotação de culturas, passa a prevalecer a qualidade estrutural do solo em elevados potenciais (Tormena et al., 2007). No manejo adequado dos animais no pastejo moderado, no longo prazo, emerge uma nova estrutura no solo, na qual o grau de sua resistência aos fluxos de gases e fluidos representa sua qualidade (Hallett et al., 2003).

A Θ_v aumentou em profundidade independentemente do tratamento, demonstrando a relevância dessas camadas do solo, muitas vezes, pouco exploradas. Independentemente da intensidade de pastejo, a Θ_v foi mantida na faixa de AD abaixo da profundidade de 20 cm. Diante da distribuição hídrica observada no perfil do solo, a relevância de culturas com sistemas radiculares complementares deve ser trazida à tona. Ressalta-se que, no SP, abaixo da profundidade de 20 cm, a Θ_v foi igual ou superior a Θ_{cc} . Após a colheita da soja (Figura 7f), nas camadas superficiais, 0-5 e 5-10 cm, respectivamente, somente o sistema com pastejo intenso manteve a Θ_v abaixo da Θ_{pmp} .

A ausência de rotação de culturas causa limitações ao SPAMA, que, em condições de déficit hídrico, pode restringir a redistribuição hídrica no perfil solo, sendo insuficiente no aproveitamento do reservatório de “água verde” no solo. Sistemas de produção com maior número de componentes funcionam em níveis de complexidade mais elevados (Vezzani & Mielniczuk, 2011), tornando-os mais sensíveis ao manejo (Mello, 2011). A maior umidade no SP em relação aos sistemas pastejados é um forte indicativo da necessidade de uma exploração mais eficiente do solo sob SIPA, uma vez que as propriedades responsáveis pelos fluxos de ar e água, no longo prazo, apresentam caráter anisotrópico mais definido em relação às práticas mecânicas (Dorner & Horn, 2009). Atenção maior deve ser dada a sistemas de produção com a inserção de animais no longo prazo, onde há uma tendência da predominância de fluxos horizontais (Krummelbein et al., 2006; Reszkowaska et al., 2011).

Considerando que a safra 2011/12 se desenvolveu em condições críticas de estresse hídrico (Figura 3), o baixo aproveitamento da água no perfil do solo, independentemente do sistema de produção, é um alerta à vulnerabilidade de SIPA com sucessão de culturas em sistemas de sequeiro. Da semeadura à colheita, independentemente do pastejo ou sua intensidade, em torno de 45% da água no perfil do solo ficou acumulada abaixo da profundidade de 30 cm. Deparados com a finita “água fóssil” (Oki & Kane, 2006) e a permanência dos cultivos em sequeiro como “carro chefe” na produção de alimentos (Parr et al., 1990), o foco atual permanece na “colheita hídrica” da fração verde da água. Os dados de Θ_v levantados (Figura 7) corroboram com as afirmações de Hamdy (2008) e Rockstrom & Falkenmark (2000) que, embora 65% da quantidade total de água pluvial se encontrar armazenada no solo para ser transformada em biomassa, a ineficiência da exploração dessa “água invisível” restringe os rendimentos em sequeiro a patamares aquém dos atingíveis.

A despeito da natureza das abordagens, estudos contemplando a distribuição de água no solo e suas propriedades físico-químicas se concentram nas camadas superficiais, em função de sofrerem a maioria dos impactos de manejos do solo (até 30 cm) (Gubiani et al., 2013). Por outro lado, assim como na dinâmica do carbono e nitrogênio no solo em sistemas de sequeiro (Varvel & Wilhelm, 2011), a distribuição hídrica no perfil do solo

(Figura 7) reforça a necessidade de avaliar e entender o comportamento do SPAMA em profundidades maiores às aquelas sendo estudadas. Conforme frisado por Reid & Renquist (1997), a utilização de cultivares de soja com sistema radicular que atinge profundidades maiores e eficiente no processo de absorção de água (baixos potenciais matriciais) é uma estratégia para aumentos na EUA, principalmente sabendo que a profundidade final de extração hídrica pode atingir até 40 cm abaixo da profundidade total radicular (Parker et al., 1989).

Dentro de um prisma sistêmico, tal comportamento deve ser destacado, visto que as condições hídricas remanescentes, tanto no ciclo da cultura de verão (soja), como no de pastejo, afetam a ciclagem hídrica do sistema de produção, contribuindo ou não para um uso produtivo da água verde. Assim, busca-se SIPA sustentados pela filosofia de “gota por grão” e “gota por proteína” (Molden et al., 2003). Neste caso, a menor Θ_v observada no pastejo intenso após a colheita da soja prejudicará o estabelecimento e balanço hídrico do ciclo de pasto subsequente.

As avaliações do estado hídrico da soja e seu rendimento trazem questionamentos a despeito do impacto dos limites físico-hídricos discutidos e da percepção das plantas. Adentrar na discussão quanto à definição dos limites de água disponível nesse sistema de produção é pertinente mediante as diferenças de D_s (Figura 5), carbono orgânico no solo (Assmann et al., 2014) e umidade (Figura 7) entre os tratamentos nas camadas mais superficiais (0-5 e 5-10 cm).

4.3.2. Estado hídrico da soja e a demanda transpiratória no ciclo de cultivo

Os impactos das intensidades de pastejo e da sua ausência no estado hídrico da soja ao longo do seu desenvolvimento foram observados nos seus valores de Ψ_{wfb} , Ψ_{wfm} , T_b e T_m (Figura 8). Os valores de Ψ_{wf} verificados se enquadram na faixa de valores obtidos para a cultura de soja em condições de estresse hídrico no campo (Boyer, 1970a; Boyer, 1970b; Turner et al., 1978). O Ψ_{wfb} atingiu picos negativos de até -1,5 MPa ao passo que o valor mínimo de -2,5 MPa foi observado para o Ψ_{wfm} . A faixa de valores médios do Ψ_{wfb} e Ψ_{wfm}

foi de, 0 a -1,0 e -1,0 e -2,5 MPa, respectivamente, justifica a indispensabilidade de avaliações diu-noturnas desse parâmetro em função do comportamento iso e aniso-hídrico da cultura da soja (Bergonci et al., 2000). Desta forma, como observado na Figura 8, o Ψ_{wfb} permaneceu elevado ao passo que valores mais baixos, em função do decréscimo acentuado que ocorre nas horas mais quentes do dia, foram verificados no Ψ_{wfm} .

Com relação à TF, os valores se mantiveram na faixa de 12 a 23 °C para a TF_b e 23 a 40°C para a TF_m , respectivamente. A variação na TF da soja foi ressaltada por Jung & Scott (1980), ao medirem a TF em três períodos: manhã e início e final da tarde. Esses autores observaram valores semelhantes aos observados neste estudo. A partir da relação obtida com a TA (Figura 9) percebe-se que a amplitude de valores de ΔT condiz com as condições de estresse hídrico nas quais a soja foi cultivada (Figura 3). A amplitude da faixa de valores do ΔT_b , de -5,5 a 0,5 °C, e ΔT_m , de -10 a 6 °C, respectivamente, demonstram a influência da umidade do solo (Figura 7) nesse parâmetro fisiológico, como já destacado por González-Dugo et al. (2005).

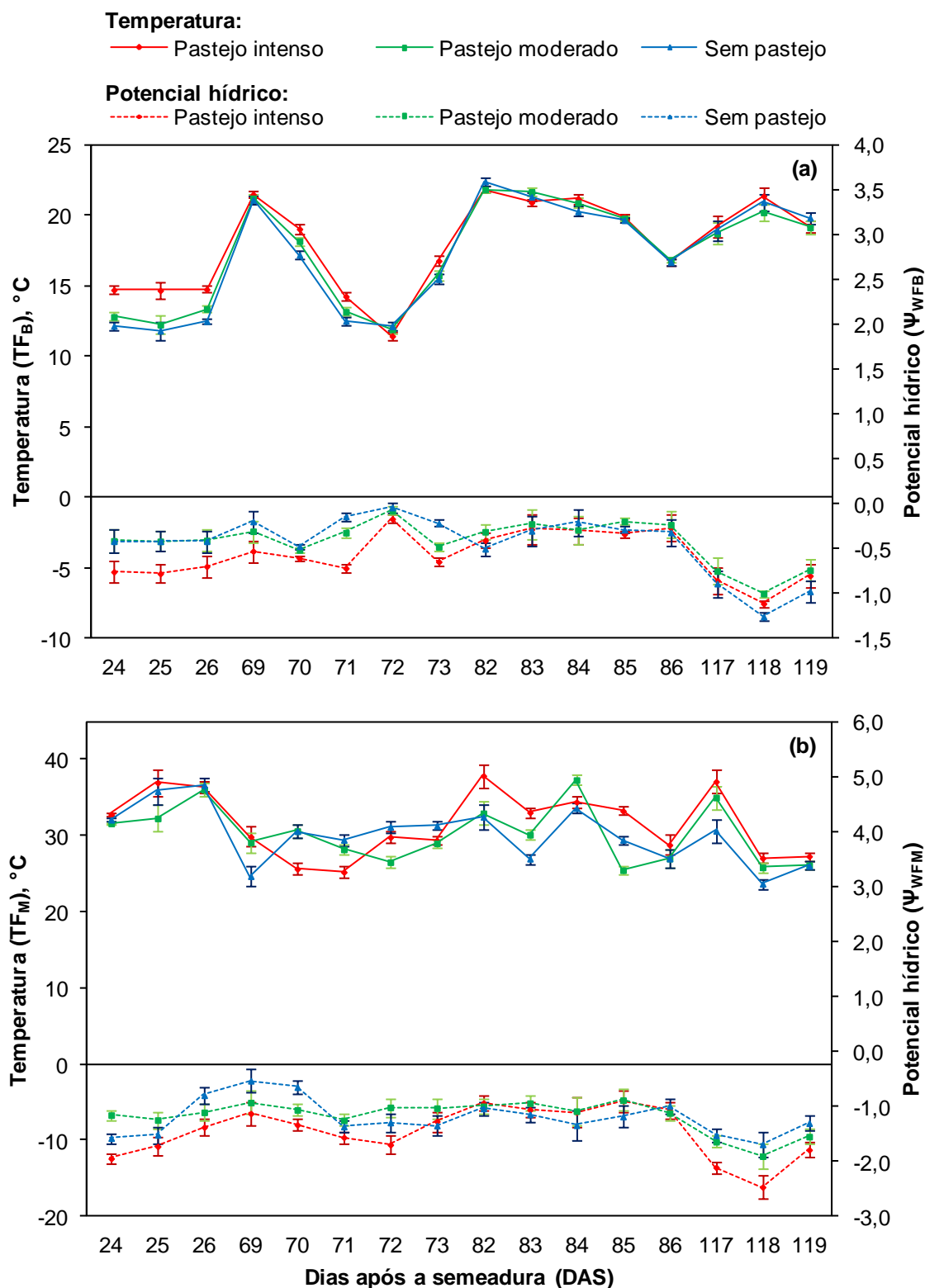


Figura 8. Temperatura e potencial de água na folha: (a) manhã e (b) tarde, em um Latossolo Vermelho distroférico no sistema integrado de soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo. As barras na vertical representam a diferença mínima significativa pela análise de contrastes a 5% de significância. Barras que se cruzam = diferença não significativa.

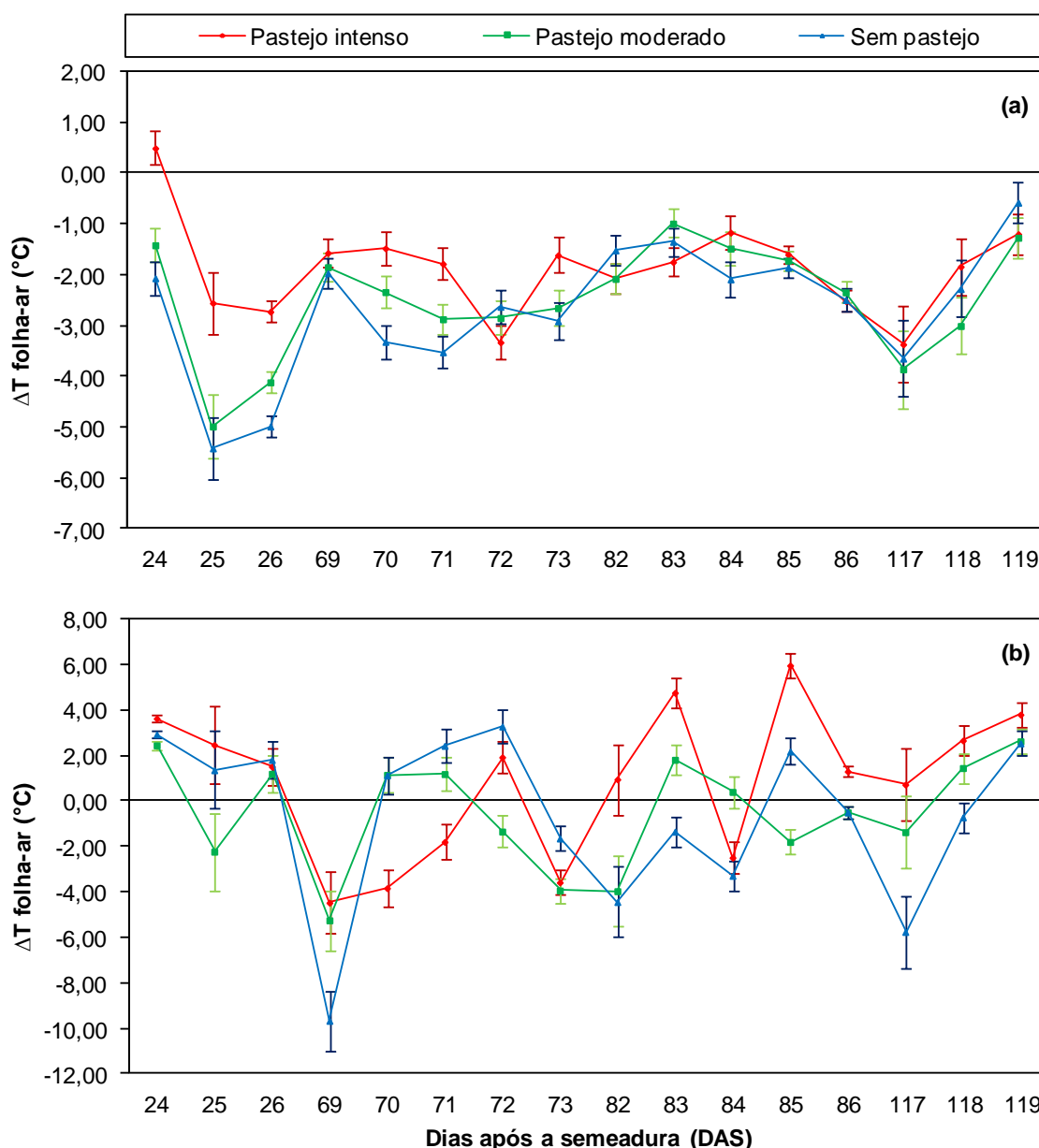


Figura 9. Diferença de temperatura da folha e do ar: (a) manhã e (b) tarde, em um Latossolo Vermelho distroférico no sistema integrado soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo. As barras na vertical representam a diferença mínima significativa pela análise de contrastes a 5% de significância. Barras que se cruzam = diferença não significativa.

Em dezembro (24 a 26 DAS), a TF_b no pastejo intenso foi menor ($P < 0,01$) que no pastejo moderado e o SP, ao passo que valores menores ($P < 0,01$) de Ψ_{wfb} foram verificados na área com maior pressão de pastejo em relação ao pastejo moderado e o SP (Figura 8a). No mesmo período, mas nas avaliações ao meio-dia, o mesmo comportamento foi observado, tanto para a

TF_m (P<0,05) como no Ψ_{wfm} (P<0,05), com o pastejo intenso apresentando Ψ_{wf} menores e TF mais elevadas (Figura 8b).

O estresse hídrico é um processo acumulativo (Bray, 1997), tornando os primeiros dias após a germinação essenciais para o decorrer do ciclo da cultura da soja. O impacto da baixa cobertura do solo ao longo do ciclo de pastejo que antecedeu o cultivo da soja (Tabela 3), não só expõe o solo a maiores perdas por evaporação, como não permite que haja acúmulo suficiente de matéria orgânica no sistema (Assmann et al., 2014). Os ciclos de acoplagem e desacoplagem de C e N (Soussana & Lemaire, 2012), neste sentido, são influenciados de maneira negativa, inibindo os benefícios sistêmicos do SIPA, como a ciclagem hídrica (Passioura & Angus, 2010) e de nutrientes (Assmann, 2013).

Os valores de Ψ_{wf} , principalmente Ψ_{wfm} , no sistema de pastejo intenso chamam atenção, uma vez que, de acordo com Oosterhuis et al. (1985), a partir de -1,4 MPa já ocorre o processo de reorientação foliar nas plantas de soja, representando um valor crítico para a cultura. Assim, no pastejo intenso, os valores de Ψ_{wfm} atingiram valores médios de -1,6, chegando a picos de -2,2 MPa (Figura 8). Por outro lado, o pastejo moderado contribuiu para que a soja, neste período, apresentasse valores Ψ_{wfb} semelhantes ao SP, apesar da menor umidade no solo (Figura 7). Ainda, o equilíbrio promovido pelo pastejo adequado no sistema (Anghinoni et al., 2013), redundou em maiores valores de Ψ_{wfm} em relação ao SP, corroborando com a linha defendida por Moraes et al. (2013), na qual o manejo adequado do SIPA, no longo prazo, promove melhorias no sistema como um todo, inclusive auxiliando para uma maior resiliência física e hídrica do sistema. De acordo com Bavoso et al. (2013), manejos que impedem processos de deformações inelásticas e permitem a manutenção de fluxos hídricos e gasosos (organização e estrutura) caracterizam a resiliência física e, conseqüentemente, hídrica do solo. A MOS possui função primordial neste contexto, visto de suas propriedades visco-elásticas, responsáveis pela resistência do solo à deformação (Markgraf et al., 2011).

A TF acompanhou o comportamento do Ψ_{wf} , destacando a diferença de 2 e 3°C em relação ao pastejo moderado e SP, respectivamente. A TF representa o balanço térmico da planta em relação ao sistema aberto no qual

se encontra (Jones, 2014) e pequenas alterações podem significar desequilíbrios significativos, visto seu impacto na cinética das reações bioquímicas (Gurevitch et al., 2009; Taiz & Zeiger, 2009). Diferentes vias metabólicas da planta dependem de enzimas sensíveis a alterações térmicas de diferentes graus (Hasanuzzaman et al., 2013). Assim como outros estresses abióticos, aumentos na temperatura do ar, assim como da planta, podem desacoplar enzimas e vias metabólicas, causando acúmulos indesejados e nocivos de espécies reativas de oxigênio, especialmente daquelas responsáveis pelo estresse oxidativo como monóxidos ($\cdot\text{O}$), radical superóxido ($\text{O}_2\cdot$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e hidroxilas ($\text{OH}\cdot$) (Asada, 2006).

Antes do nascer do sol (e da abertura estomática), quando a planta tende a entrar em equilíbrio com o solo, o comportamento do Ψ_{wfm} no mês de janeiro foi semelhante ao observado em dezembro (Figura 8a). Desta forma, a soja, nas áreas com pastejo intenso, entre 69 a 73 DAS, apresentou maior grau de estresse hídrico em relação ao SP e pastejo moderado, com TF_b mais elevada ($P < 0,05$) e Ψ_{wfb} mais baixo ($P < 0,01$). Destaca-se ainda que, nesse mês, o estado hídrico da soja no período matutino (TF_b e Ψ_{wfb}) não apresentou diferença ($P > 0,05$) entre o pastejo moderado e o SP.

Entretanto, no pico de estresse hídrico da planta, o comportamento do Ψ_{wfm} no período da tarde de janeiro foi semelhante ao observado em dezembro (Figura 8). Por outro lado, a relação entre os tratamentos de pastejo, quanto à TF_m , foi diferente. A TF_m foi, de um modo geral, mais baixa em dois dos cinco dias de avaliação no pastejo intenso em relação ao SP e pastejo moderado (Figura 8 b). Ainda, a baixa oscilação da TF_m no SP deve ser ressaltada, demonstrando maior equilíbrio no estado hídrico da planta em relação as áreas pastejadas. Embora houvesse alternâncias quanto ao Ψ_{wfm} , entre o SP e o pastejo moderado, tais tratamentos apresentaram, de um modo geral, valores mais elevados em relação ao pastejo intenso (Figura 8b).

Em função da antecipação no florescimento da soja, resultante do estresse hídrico, já frisado anteriormente, o mês de janeiro representou o estágio de florescimento da cultura. Para a soja, a escassez hídrica no período entre os estádios R1 e R5, no qual se enquadra o florescimento, é responsável por 85 a 90% da variação no seu rendimento (Berlato & Fontana, 1999). Levando em conta que esse período é mais longo para a soja em relação a

outras culturas comerciais, como o milho (Goldman et al., 1989; Matzenauer et al., 2003), a sua relevância aumenta.

A manutenção de valores mais baixos de Ψ_{wfb} e mais elevados de TF_b no pastejo intenso representam maior grau de estresse hídrico da cultura uma vez que o potencial e a temperatura de base (Ψ_{wfb} e TF_b) refletem a condição hídrica tanto do solo quanto da raiz (Reich & Hinckley, 1989). Segundo estes autores, estas medidas se tornam úteis para descrever o papel do estado hídrico da raiz e sua condutância hídrica, que regula os níveis de perda de água pelas folhas. A redução nos valores de Ψ_{wfb} em condições de pastejo intenso reflete o processo de secagem do solo, dando origem a regiões de secagem “drying gaps”, onde o baixo contato solo-raiz se torna o maior empecilho para a manutenção do estado hídrico da planta (Durand et al., 2007). Todavia, quando nos deparamos com o comportamento da TF_{wfm} , verificamos a sensibilidade da planta às variações de potencial hídrico da água no solo, demonstrando a dinamicidade das propriedades hidráulicas em ciclos de umedecimento e secagem do solo (Bengough et al., 2011).

O comportamento inverso da TF_m com relação ao Ψ_{wfm} em dois dos cinco dias de avaliação exemplifica a dificuldade na avaliação de plantas em sistemas abertos (Asbjornsen et al., 2011). Embora a TF seja um parâmetro fisiológico representativo do estado hídrico das plantas, a sua relativização com a TA é indispensável no contexto sistêmico (Rodríguez-Iturbe & Porporato, 2004). Além da TA , a TF também está associada ao processo de abertura e fechamento estomático que, por sua vez, é rápido e funciona em sistema de retroalimentação, podendo a resposta estomática ocorrer sem haver alterações morfológicas na planta (Griffiths & Parry, 2002).

Em fevereiro, período no qual a soja estava no estágio de enchimento de grãos (82 a 86 DAS) (Fehr & Caviness, 1977), a TF_b foi menor no SP em relação a ambas intensidades de pastejo ($P < 0,05$), as quais não apresentaram diferença entre si. Todavia, neste período de demanda hídrica crítica, o Ψ_{wfb} foi mais baixo nas áreas sem animais em relação às pastejadas ($P < 0,05$). Ainda, o pastejo intenso acarretou em Ψ_{wfb} maiores em relação ao pastejo moderado ($P < 0,05$) (Figura 8a). Como vem sendo detectado, a TF tem apresentado maior coerência com relação aos impactos dos tratamentos no SPAMA. Assim, novamente a TF_m no SP foi menor em relação a ambos

tratamentos pastejados ($P < 0,01$), com o pastejo intenso gerando condições para que a TF_m fosse maior que no pastejo moderado ($P < 0,01$). Atenção deve ser dada a elevada média dos valores de TF_m no pastejo intenso, em torno de 35°C .

Por outro lado, ao avaliar o estado hídrico da soja pelo Ψ_{wfm} , nos deparamos com um comportamento praticamente inverso ao observado para a TF_m , no qual, independentemente da intensidade de pastejo, o Ψ_{wfm} foi maior ($P < 0,01$) em relação aos SP. Todavia, ao situar os valores Ψ_{wfm} nesse período dentro do ciclo de desenvolvimento da soja, independentemente dos tratamentos, observamos valores, de um modo geral mais elevados (Figura 8b). Tal contexto se faz importante, visto ser o único período no qual o SP apresentou Ψ_{wf} mais baixos (maior estresse hídrico) em relação às áreas pastejadas.

A despeito da escassez de chuvas no ciclo da soja (Figura 3a), no mês de fevereiro a precipitação foi superior aos demais meses, com 115 dos 318 mm (36%) do total. A ocorrência de um evento pluviométrico antecedendo o período de avaliação altera a magnitude da resposta da soja às condições hídricas do solo e da atmosfera. Mesmo diante de comportamentos de TF_b e TF_m semelhantes, com maior estresse hídrico da soja no pastejo intenso, os valores de Ψ_{wfb} e Ψ_{wfm} nas áreas sem animais destoam do comportamento antes observado.

O conhecimento do impacto dos eventos pluviais em ecossistemas controlados pela disponibilidade hídrica, como do presente estudo, é essencial para avaliar a relação entre o estado hídrico das plantas e do solo e as condições atmosféricas (Verburg et al., 2012). A teoria do “pulso de produção”, proposta pelos autores acima, sugere que, independentemente do volume, os eventos pluviais afetam grandemente na dinâmica hídrica de sistemas abertos, sendo um processo acumulativo. As chuvas constatadas podem ter contribuído para a resposta diferenciada do Ψ_{wf} ao estresse hídrico. A compartimentalização do carbono na planta, entre a parte aérea e as raízes, é modificada pela disponibilidade hídrica no solo, havendo ajustes osmóticos na “zona de crescimento” radicular e alterações morfológicas tanto nas raízes como na parte aérea (Pieruschka et al., 2010). O processo de alocação do carbono entre a parte aérea e o sistema radicular em condições de estresse

hídrico torna complexa a dinâmica hídrica da planta, na qual a busca pelo equilíbrio metabólico (homeostases) pode resultar em acúmulos de sacarose nas células (Farrar & Williams, 1991). A sacarose atua como mensageira ajustando a capacidade fotossintética do dreno em utilizar fotoassimilados, implicando em alterações no Ψ_{wf} (Jones, 2014).

A dinâmica do sistema de retroalimentação existente entre a raiz, a água e o clima é destacado por Lee et al. (2005) e, nessa temática, alterações na condutância estomática não necessariamente modificam o Ψ_{wf} (Bennett et al., 1987). Existem controvérsias quanto ao uso desse parâmetro fisiológico para representar o estado hídrico das plantas, alegando que mensurar o volume celular (teor de água relativo na folha) seja mais importante na avaliação da atividade metabólica (Sinclair & Ludlow, 1985). De acordo com estes autores, o teor de água na planta (absorção hídrica - transpiração) apresenta maior estabilidade em uma amplitude de valores de umidade do solo. Esta teoria é reforçada pelo fato de, além dos ciclos diu-noturnos, os processos de expansão e contração celular e a dependência ao ajuste osmótico, regem o fluxo hídrico à nível celular e, portanto, aumentam a instabilidade da medida de Ψ_{wf} à campo.

Ao final de período de enchimento de grãos (117 a 119 DAS) (Richie et al., 1982), novamente foram observados valores mais baixos ($P < 0,05$) de Ψ_{wfb} no SP, com o pastejo moderado apresentando os maiores valores. Quanto a TF, tanto de base como TF_m , o pastejo intenso apresentou valores mais elevados ($P < 0,01$), atingindo, inclusive, valores próximos a $40^{\circ}C$ (Figura 8b). Contrário ao observado na Ψ_{wfb} , o pastejo intenso apresentou valores mais baixos de Ψ_{wfm} em relação ao moderado e o SP ($P < 0,05$) (Figura 8b). Cabe ser destacada a magnitude dos valores de Ψ_{wfm} , que oscilaram entre -2,0 e -2,5 MPa.

O acúmulo rápido e constante das vagens e formação e enchimento dos grãos ocorre entre os estádios de desenvolvimento 5,5 e 6,5 (Richie et al., 1982), ou seja, aproximadamente de 90 a 105 DAS, no presente caso. Desta forma, o estado hídrico da cultura nesse período, tem um impacto menor para o seu desempenho (Sionit & Kramer, 1977). Mesmo assim, na condição de maior estresse e pastejo intenso, os valores de Ψ_{wfm} foram extremamente baixos devendo ter afetado a taxa fotossintética da cultura. Segundo Boyer (1970a;

1970b), valores abaixo de -1,1 MPa resultam em redução na taxa fotossintética da soja. Ao avaliarmos o comportamento da Ψ_{wf} no pastejo intenso ao longo do ciclo de desenvolvimento da soja, deparamos com valores, mesmo em condições de equilíbrio (Ψ_{wfb}), abaixo de -0,4 MPa. Este valor é considerado limítrofe para o início do processo de inibição do crescimento foliar, inclusive em magnitude maior em relação à fotossíntese (Boyer, 1970c). Os valores encontrados no sistema com menor disponibilidade hídrica (Figura 7) corroboram com os obtidos por Turner et al. (1978), alertando que no processo de secagem do solo, o Ψ_{wf} da soja pode atingir valores abaixo de -2,7 MPa, com redução na condutividade foliar e fotossíntese a partir de -1,5 MPa.

A TF, independentemente do horário de avaliação, parece representar melhor a condição da cultura em relação à umidade do solo. De acordo com Wien et al. (1979), a maior disponibilidade de água, ao compararem sistemas com e sem irrigação, redundou em 2 a 7 °C abaixo da TA. Esses autores ainda salientam que a temperatura do dossel em condições de estresse hídrico foi semelhante a do ar. A suficiência do uso da TF e do dossel na avaliação do estresse hídrico é produto da sensibilidade da TF às alterações na disponibilidade hídrica (Reicosky et al., 1985).

Entretanto, por estar inserida em um sistema com constante trocas energéticas, tendendo a permanecer em condições de não-equilíbrio (Addiscott, 1995), os processos metabólicos da planta dependem da TA e de sua umidade, sendo a magnitude de tal associação denominada “fator ômega” (Jarvis & McNaughton, 1986). Há, então, um sistema de acoplamento das culturas às condições atmosféricas, tornando a avaliação do comportamento do ΔT (Figura 9) e da DPV folha-ar (Figura 10) crítica no processo de entendimento quanto à resposta da soja ao estresse hídrico.

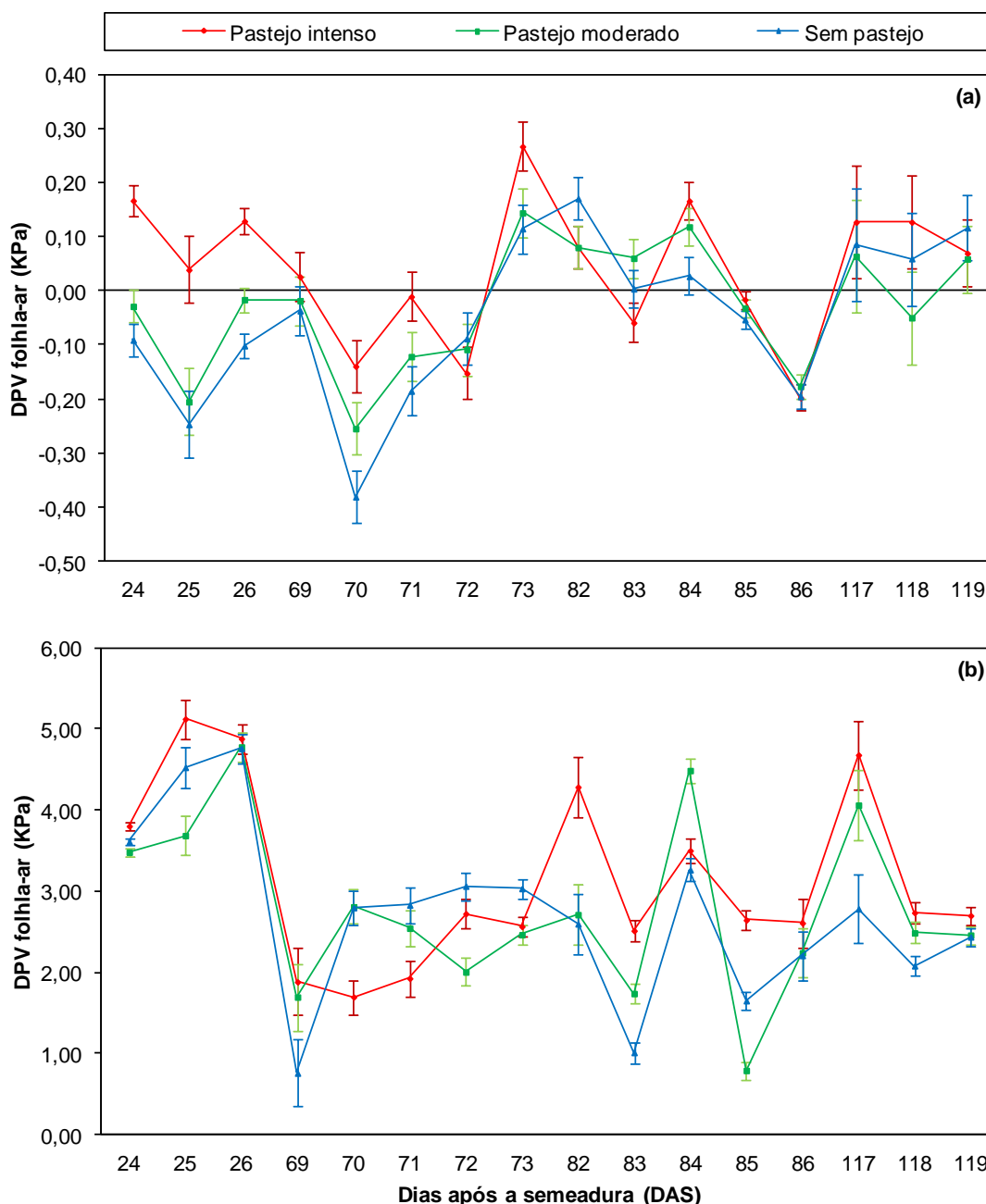


Figura 10. Déficit de pressão de vapor (DPV) entre a folha e o ar: (a) manhã e (b) tarde, em um Latossolo vermelho distroférico no sistema integrado soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo. As barras na vertical representam a diferença mínima significativa pela análise de contrastes a 5% de significância. Barras que se cruzam = diferença não significativa.

Em culturas de ciclo curto, em função da elevada resistência da camada limítrofe, o acoplamento da parte aérea com a atmosfera não é perfeito, havendo aumentos na TF e, conseqüentemente, perdas transpiratórias, a despeito do fechamento estomático. O sistema, neste sentido, se torna mais dependente da energia radiante (Davies, 2006). Cautela em

relação às conclusões referentes a TF medida à campo deve ser tomada, pois a dinâmica dos fluxos hídricos em nível de indivíduo (planta) e população difere, em função do grau de acoplamento entre o dossel e a atmosfera. Por outro lado, mesmo em condições de baixo acoplamento, culturas anuais podem usufruir de mecanismos que aumentem a EUA, afetando tanto a capacidade de assimilação de CO₂ como a condutância estomática (Rebetzke et al., 2002).

A diferença de temperatura entre a folha da soja e o ar, ΔT , permitiu observar a capacidade de manutenção da condição hídrica da planta (TF) em relação às condições atmosféricas (TA). Desta forma, quanto menor o valor do ΔT , maior foi o grau de resfriamento da planta, ou seja, menor o grau de estresse hídrico da mesma. De um modo geral, independentemente do tratamento, o ΔT_b apresentou valores negativos, representando TF mais baixas que as do ar, e, portanto, condições de menor estresse hídrico (Figura 9a). Todavia, contrastes grandes foram observados, dentre os quais se destacaram, no mês de dezembro, o valor positivo no pastejo intenso e o de $-5,5^{\circ}\text{C}$ no SP. Outro fator que influencia no ΔT foha-ar, embora independa do manejo adotado, é a velocidade dos ventos, que, no local do presente estudo apresenta um histórico de valores elevados.

As oscilações observadas indicam, de acordo com Jones (2014), que as trocas de energia (folha e ar) ocorreram em condições de mudança abrupta e harmônica. Segundo esse autor, existem três condições nas quais ocorrem essas trocas: 1- mudanças abruptas (instantâneas), 2- em rampa (graduais) e harmônicas (oscilantes). Tal classificação é importante, visto que essas mudanças ocorrem em condições de estresse hídrico, existindo a necessidade de recuperação homeostática em graus mais elevados.

Em dezembro, a TF_b apresentou menor diferença em relação a do ar no sistema de pastejo intenso ($P < 0,05$), seguido do pastejo moderado e SP. A mesma condição foi observada para o ΔT_m , porém, o pastejo moderado apresentou valores menores que SP ($P < 0,05$). O maior estresse hídrico da cultura é representado nesse período pela amplitude dos valores de ΔT , que, independentemente do manejo, variaram de 6 a -9°C (Figura 9b). A menor oscilação do ΔT_m no pastejo moderado merece atenção, com 50% dos valores abaixo de zero, superando inclusive o SP (44%). Valores negativos de ΔT indicam eficiência do processo de resfriamento foliar (planta) e, quanto mais

negativos, menores são os prejuízos de elevadas temperaturas do ar no processo fotossintético em condições de estresse hídrico (Reicosky et al., 1985).

O comportamento do ΔT_b em janeiro foi semelhante ao de dezembro, com valores menores para o SP seguido, do pastejo moderado e intenso ($P < 0,05$). Por outro lado, exceto no primeiro dia de avaliação, os sistemas pastejados apresentaram ΔT_m mais baixos ($P < 0,05$) em relação ao SP.

No mês de fevereiro, parece ter havido uma alteração no impacto dos sistemas de manejo no ΔT_m , havendo grande variação entre os tratamentos e dias de avaliação (Figura 9a). Nos primeiros dois dias, os sistemas pastejados apresentaram valores de ΔT_m mais baixos ($P < 0,05$), ao passo que nos dias seguintes foi observada uma inversão no comportamento, com o pastejo redundando em maiores valores ($P < 0,05$) (Figura 9a). Ao final deste período de avaliação (86 DAS), não foram observadas diferenças entre os tratamentos. A despeito do exposto, ressalta-se que todos os sistemas de manejo, entre janeiro e fevereiro (florescimento e enchimento de grãos), apresentaram $\Delta T_m < -1^{\circ}\text{C}$. Comparando o ΔT_m em fevereiro, os valores foram mais elevados no pastejo intenso, tanto em relação ao pastejo moderado ($P < 0,05$) como ao SP ($P < 0,05$) (Figura 9b). O equilíbrio entre a soja e a atmosfera foi semelhante em condições de pastejo moderado e SP, apresentando diferenças ($P < 0,05$) somente em três dias, no qual se verificou menores valores para o SP em dois.

Em março, último mês de avaliação, o pastejo moderado apresentou valores de ΔT_m inferiores ao SP ($P < 0,05$) que, por sua vez, foi maior que ambos os sistemas pastejados no último dia de avaliação ($P < 0,05$) (Figura 9a). Este comportamento segue o observado para o Ψ_{wfb} no mesmo mês. Por outro lado, a soja apresentou condição de maior estresse no sistema de pastejo intenso, com valores maiores de ΔT_m em relação ao pastejo moderado e o SP ($P < 0,05$) (Figura 9b). Os sistemas pastejados, independentemente da intensidade de pastejo, apresentaram o predomínio de valores ΔT_m positivos, ao passo que no SP predominaram os valores negativos (Figura 9b).

Em março (117 a 119 DAS), a soja já se encontrava com os grãos formados, próximos a maturação e período de colheita. Mesmo nestas

condições, o pastejo intenso contribuiu para elevados valores de ΔT_m seguindo a tendência observada ao longo do ciclo de cultivo de soja, demonstrando o estresse hídrico ser um processo acumulativo (Bray, 1997). Ainda, os valores positivos observados no SP, sistema mais eficiente quanto à manutenção homeostática da cultura da soja (Figuras 8 e 9), corrobora com a linha apresentada por Turner & Begg (1981), destacando a baixa adaptabilidade das plantas utilizadas em sistemas de produção de alimentos às condições abióticas, sempre apresentando algum grau de estresse hídrico (taxa transpiratória > taxa de absorção radicular).

O acoplamento existente entre a dinâmica hídrica no solo e a atmosférica (Gordon et al., 2007) demanda abordagens que contemplem os diversos componentes do SPAMA (Oren et al., 1999), como a DPV folha-ar. Assim, compreender o comportamento DPV folha-ar ao longo do cultivo da soja (Figura 10) permite estender o entendimento quanto aos processos que regem a dinâmica hídrica no sistema integrado de produção agropecuária.

A demanda transpiratória, representada pela DPV folha-ar, ao longo do ciclo da soja, apresentou comportamentos distintos quanto ao período de avaliação e os respectivos sistemas de manejo (Figura 10). De um modo geral, verificam-se maiores demandas transpiratórias dessa cultura no sistema com pastejo intenso e, menores, no SP. A variação nos valores, assim como aquela observada para os demais parâmetros fisiológicos abordados (Figuras 8 e 9), resulta da dinamicidade dos fluxos hídricos que ocorre em sistemas abertos, como o solo-planta-atmosfera. Há, de acordo com Ritchie (1973), uma dinâmica momentânea ao longo do cultivo de grãos às condições edafoclimáticas, devido à mediação das trocas energéticas ocorrer em um sistema de retroalimentação entre solo, planta e atmosfera (Ritchie, 1973).

O comportamento da DPV folha-ar, independentemente do turno ou sistema de manejo avaliado, vai de encontro aos parâmetros fisiológicos antes discutidos (Figuras 8 e 9). No início do dia, com DPV folha-ar baixa, as taxas transpiratórias são baixas, assim como o pH apoplástico e, mesmo em condições de baixa umidade do solo (Figura 7) e sinalização intensa de ABA, pode haver abertura estomática (Davies, 2006). Ao decorrer do dia, há um aumento na DPV folha-ar e nas taxas transpiratórias, reduzindo o Ψ_{wf} e o pH apoplástico, gerando um fechamento estomático em resposta à sinalização do

ABA constante ao longo do dia (Tardieu et al., 1993). De acordo com Cowan & Farquhar (1977), a base mecânica descrita acima otimiza o comportamento estomacal podendo maximizar a EUA em condições ambientais inadequadas. Assim, mesmo diante do déficit hídrico extremo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, os parâmetros fisiológicos da soja se mantiveram em patamares suficientes para a sobrevivência da cultura.

A demanda transpiratória da soja em dezembro (24 a 26 DAS), no período matutino (DPV folha-ar_b), foi maior no pastejo intenso ($P < 0,05$) em relação aos demais sistemas (Figura 10a). Já no período da tarde (DPV folha-ar_m), o pastejo moderado apresentou valores menores ($P < 0,05$) em relação ao pastejo intenso e SP, respectivamente. Os elevados valores na avaliação da tarde ($> 3,0$ KPa), independentemente do sistema de manejo, devem ser salientados assim como o fato de apenas o pastejo intenso ter apresentado valores positivos na avaliação matinal.

No mês de janeiro (70 a 73 DAS), período de elevada demanda hídrica da cultura, o comportamento da soja, de manhã, foi semelhante ao observado em dezembro, com o SP apresentando valores mais baixos ($P < 0,05$) em relação aos sistemas pastejados (Figura 10a). No horário de maior estresse hídrico, o sistema sem animais apresentou valores mais elevados em relação aos pastejados ($P < 0,05$), independentemente da intensidade de pastejo (Figura 10b).

A inconsistência no comportamento da DPV folha-ar_b foi verificada no mês de fevereiro (82 a 86 DAS). Assim o SP, pastejo moderado e pastejo intenso apresentaram valores de DPV folha-ar_b mais elevados ($P < 0,05$) no primeiro, segundo e terceiro dia de avaliação, respectivamente (Figura 10a). Todavia, nos demais dias, não foram observadas diferenças entre os sistemas de manejo. Já em março (117 a 119 DAS), no período da manhã, o pastejo intenso apresentou valores mais elevados nos dois primeiros dias em relação aos demais tratamentos ($P < 0,05$). Nas avaliações da tarde, o SP, em ambos os meses, apresentou valores mais baixos ($P < 0,05$), ao passo que valores intermediários foram observados, de um modo geral, no pastejo moderado (Figura 10b). Destaca-se a manutenção de elevados valores de DPV folha-ar_m no pastejo intenso ao longo do último período de avaliação, ficando acima de 3 KPa.

A semelhança nos padrões observados entre a DPV folha-ar e o ΔT estão de acordo com a relação linear destes parâmetros, verificada por Idso et al. (1981). Estes autores, a partir da dependência de tais parâmetros, desenvolveram um índice de estresse hídrico para diversas culturas, incluso a soja (Idso, 1982). O acompanhamento da DPV folha-ar_m com a umidade do solo (Figura 7) e a TF_m advém da maior manutenção do estado hídrico da soja em condições de estresse hídrico no sistema com maior produção de resíduo (Tabela 3). A maior demanda transpiratória no início do ciclo da soja no sistema com menor produção de resíduo (pastejo intenso) é reflexo das condições de umidade no solo e TF, conforme alertado por Matzenauer et al. (2003).

A semelhança verificada entre a demanda transpiratória e os valores de Ψ_{wf} ocorre devido à maior influência da DPV folha-ar nesse parâmetro em condições de umidade relativa mais baixa (Kramer & Boyer, 1995), como no presente estudo (Figura 10). A manutenção de baixos valores de Ψ_{wf} , reduzindo a condutância estomática em condições de elevada DPV folha-ar, é um mecanismo de retroalimentação eficiente de culturas para grãos (Franks & Farquhar, 1999).

A magnitude dos valores de DPV folha-ar no mês de dezembro (24 a 26 DAS) alerta quanto ao desenvolvimento da soja, uma vez que existe uma variação no comportamento estomático da cultura, quando ao déficit de pressão de vapor = DPV ar se encontra entre 1 e 3,5 KPa (Sinclair et al., 2008). Ainda com relação ao DPV ar, há um decréscimo na condutância estomática na faixa de 1 a 2,5 KPa (Bunce, 1981) e redução no valor crítico da disponibilidade hídrica quando a mesma supera 3,2 KPa (Fletcher et al., 2008). Assim, o estabelecimento inicial da cultura da soja em condições de pastejo intenso foi prejudicado não só pela baixa disponibilidade hídrica como pela elevada demanda transpiratória. A dependência do estado hídrico da soja, destacada anteriormente no DPV ar, ocorre também para o DPV folha-ar (Oren et al., 1999).

A inconstância da demanda transpiratória no mês de fevereiro (82 a 86 DAS), período com maior incidência de chuvas, e no qual a soja se encontrava no estágio de enchimento de grãos, advém da resposta estomática transitória às alterações de temperatura em função de melhorias no suprimento hídrico (Raschke, 1970). Há, de acordo com esses autores, uma interação

entre a condutância estomática, o DPV folha-ar e o estado hídrico da soja. Soma-se ao relatado, a maior umidade relativa em fevereiro (Figura 7b), uma vez que o aparato fotossintético de plantas C3 apresenta maior sensibilidade a esse fator abiótico (Bunce, 1983).

A dinâmica do estado hídrico da soja, resultante do desenvolvimento da cultura em um sistema aberto, aumenta no SPAMA, onde é necessário discernir o comportamento do indivíduo (planta) daquele da população (lavoura) (Baldocchi, 1989). Futuras avaliações, contemplando temperaturas do dossel podem, juntamente com os dados levantados, auxiliar no processo de entendimento da demanda hídrica da soja em SIPA, como já alertado por González-Dugo et al. (2005), para sistemas puros (agrícolas) irrigados.

A manutenção de valores intermediários de DPV folha-ar no pastejo moderado demonstra haver, no longo prazo, a formação de uma estrutura de solo (Hallett et al., 2003), que permite o desenvolvimento da cultura mesmo diante de condições extremas de déficit hídrico, como no presente estudo. Todavia, esses autores sugerem que um maior entendimento do sistema só será atingido mediante avaliações de fluxos hídricos e gasosos.

A diferença observada entre o pastejo moderado e o SP pode ser relacionada à menor quantidade de biomassa remanescente no solo (Tabela 3), pois melhorias na EUA só serão atingidas aumentando a razão biomassa/transpiração (Gregory, 1989). Ao longo dos anos, tanto o pastejo moderado como o SP têm proporcionado maior produção de resíduo de pastagem para o sistema (Carvalho et al., 2011). A cobertura permanente do solo leva a menores perdas por evaporação no sistema (Wallace & Batchelor, 1997), aumentando, embora não mensurado no presente estudo, o fluxo hídrico produtivo (fluxo de vapor produção por produção de matéria seca).

4.3.3. Relação entre a densidade do solo e a densidade crítica do IHO, o rendimento relativo da soja e a distribuição pluviométrica no tempo

Diante das condições hídricas nas quais a cultura da soja se desenvolveu (Figura 7), a sua sobrevivência e perpetuação na safra 2011/12 (Tabela 4) é motivo de plena discussão. O volume total de chuvas nessa safra

de soja foi de 320 mm, com apenas 130 mm sendo fornecido nos períodos mais críticos (Figura 3c). Comparado ao histórico do protocolo (Moraes et al., 2013), a queda nos rendimentos, independentemente do pastejo, foi maior que 90%. Menores rendimentos ($P < 0,05$) foram observados no pastejo intenso, seguido do pastejo moderado e SP, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4. Relação $D_s/D_{sC_{IHO}}$, rendimento (R) e rendimento relativo da soja¹ (RR) em um Latossolo Vermelho distroférrico no sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo

Pastejo	Camada (cm)					Média	Rend. (Mg ha ⁻¹)	RR ¹ (%)
	0-5	5-10	10-20	20-30	30-50			
Intenso	1,02	1,01	0,95	0,88	0,89	0,95	0,23	58
Moderado	0,99	0,96	0,93	0,92	0,92	0,94	0,28	71
Sem	0,97	0,98	1,00	1,01	1,01	0,99	0,39	100
Média	0,99	0,98	0,96	0,94	0,94	0,95	0,30	

¹relação dos rendimentos de soja dos demais tratamentos com o de maior rendimento (100%).

Contrário ao proposto pelo IHO, o comportamento do rendimento da soja não foi explicado pela relação $D_s/D_{sC_{IHO}}$, visto dos elevados valores desta relação. Destaca-se que no SP, que apresentou, embora baixo, rendimento nominal mais elevado, cuja relação $D_s/D_{sC_{IHO}}$, nas camadas mais superficiais, 0-5 e 5-10 cm, foi, respectivamente, foram de 0,97 e 0,98. Independentemente da camada avaliada ou sistema de manejo em questão, no SIPA avaliado, o comportamento da D_s foi ineficiente como indicador da qualidade física do solo, seja em anos com ou sem déficit hídrico.

A manutenção de altos rendimentos em safras com frustrações climáticas pode ser vista como o ápice de sistemas de produção equilibrados. Conforme observado no histórico dos rendimentos da soja neste protocolo (Tabela 5), há uma resposta diferenciada da cultura às intensidades de pastejo e a ausência do mesmo em função do grau de severidade do déficit hídrico. Assim, em anos sem mas, principalmente, com déficit hídrico (moderado e severo) os rendimentos da soja são maiores no SP em relação aos sistemas pastejados, demonstrando a importância da produção de resíduos e cobertura do solo, independentemente do grau de compactação do solo.

Tabela 5. Rendimento de soja em diferentes safras em Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto e intensidades de pastejo

Saфра	Condição hídrica	Pastejo		
		Intenso	Moderado	Sem
		----- Mg ha ⁻¹ -----		
2002/03	Adequada	3,70	3,63	4,05
2004/05	Moderada	1,20	1,25	1,20
2005/06	Moderada	1,85	1,84	1,70
2006/07	Adequada	3,55	3,46	3,71
2011/12	Severa	0,23	0,28	0,39

A menor produção de resíduos e Θ_v no sistema com maior carga animal (Tabela 3 e Figura 7), além de contribuir para compactação do solo, pode restringir o sistema radicular da soja à superfície do solo (Franchini et al., 2009). Segundo estes autores, limitando as raízes a 20 cm de profundidade em solos argiloso, supre somente por cinco dias a demanda hídrica no estágio de florescimento (36 mm). O aumento da profundidade de extração de água para 60 cm estende este período para duas semanas (108 mm). Em SIPA, de acordo com Franzluebbers et al. (1995), o papel dos resíduos do ciclo de pastejo no armazenamento de água no solo é essencial para o seu funcionamento. A otimização na EUA em SIPAs passa por processos biológicos como a redistribuição hidráulica pela utilização de forrageiras perenes que explorem mais eficientemente o solo (Skinner et al., 2004).

As limitações do IHO, como indicador de qualidade física do solo, advêm dos processos hídricos e, conseqüentemente, ocorrerem na interface solo-raiz (Lipiec et al., 2012). A baixa relação da D_s/D_{scIHO} com o rendimento relativo da soja ao longo de safras, com e sem déficit hídrico (Figura 11), reforça a ineficiência da utilização desta ferramenta para avaliações de longo prazo do impacto de manejos distintos deste SIPA (soja-bovinos de corte) em sua produtividade.

Em SIPA, a alteração na estrutura do solo advinda do maior grau de compactação pode alterar os limites de AD pela superestimação da Θ_{cc} (Tarawally et al., 2004). Cautela quanto aos limites de AD utilizados no IHO são necessárias, pois, conforme observado neste trabalho, ele pode não condizer com as respostas fisiológicas das plantas.

No processo de secagem do solo, D_s mais elevadas podem favorecer para o aumento da retenção e disponibilidade hídrica (Tormena et al.,

1998). Por outro lado, a organização promovida pelo manejo adequado do pastejo aumenta a capacidade de recuperação do solo e a taxa e o sentido dos fluxos (hídricos e gasosos) (Krummelbein et al., 2006; Reszkowska et al., 2011), por meio de processos biológicos e físicos, não detectados pela D_s (Logsdon & Karlen, 2004; Martinez & Zinck, 2004). Estes autores afirmaram que a magnitude nas alterações de D_s , neste contexto, se torna mais importante que os valores em si. Pela avaliação das respostas fisiológicas da soja e os parâmetros de solo, leva a concordar com Alaoui et al. (2011) quanto a necessidade de aprofundamento no entendimento da funcionalidade do ambiente solo. Nesta temática, a natureza e grau das deformações (Markgraf et al., 2011) e a resiliência do solo (Bavoso et al., 2013) são ferramentas a serem consideradas em futuras avaliações de ambientes sujeitos a ciclos de umedecimento e secagem (Angers & Caron, 1998), como neste protocolo.

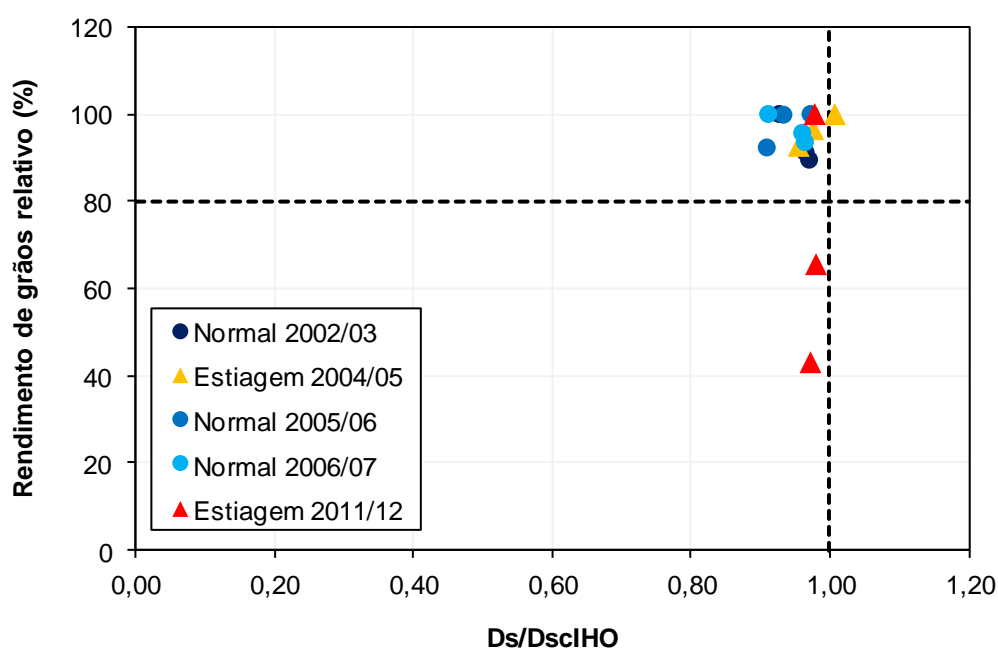


Figura 11. Rendimento relativo de grãos de soja, em função da relação D_s/D_{scIHO} encontrada no IHO (Dados compilados de Conte et al., 2011), na camada de 0-30 cm, em Latossolo Vermelho distroférrico em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo.

Críticas quanto ao limite de 2,0 MPa para sistemas conservacionistas de longo prazo já se tornaram comuns (Tormena et al., 2007; Betioli Junior et al., 2012; Moraes et al., 2013). A inconstância nas respostas

das raízes de feijão em função da escolha do valor do limite inferior no IHO (Kaiser et al., 2009) e também da cultura da soja (Klein & Camara, 2007) são fortes indícios quanto à ineficiência dessa metodologia em avaliar a percepção das plantas em SIPA.

Em condições de estresse hídrico, ocorrem respostas distintas da parte aérea e das raízes, havendo ajustes osmóticos nas “zonas de alongação” radicular e alterações morfofisiológicas (Pieruschka et al., 2010). Em sistemas abertos, inserindo o *continuum* solo-planta-atmosfera, essas alterações na rizosfera ocorrem em patamares distintos aos propostos pelo IHO, seja no potencial hídrico foliar ou radicular (Whitmore & Whalley, 2009). Esta complexidade é explicada pela presença de proteínas específicas nas raízes, denominadas *expansinas*, que são responsáveis pela reologia das paredes celulares, auxiliando na manutenção do turgor celular e, conseqüentemente, a absorção hídrica (Lee et al., 2005). Soma-se ao exposto, a existência de resistividades e condutividades hidráulicas no trajeto hídrico do solo para a parte aérea (Levin et al., 2007). A capacidade fotossintética pode ser, mesmo diante de condições bióticas adversas, mantida mediante aumento na concentração de sacarose (Farrar & Williams, 1991).

Por este prisma, o valor de 1,5 MPa para a Θ_{pmp} não condiz com os processos de absorção hídrica na interface solo-raiz (Bengough et al., 1997; Bengough et al., 2011) e transpiração das plantas ao longo de seu desenvolvimento. Incorpora-se a esta linha, a capacidade distinta das espécies na extração hídrica (Evetts et al., 2011), a incerteza na determinação do Θ_v em potenciais extremos (Gardner & Ehling, 1963) e o impacto da textura na desuniformidade entre os processos de umedecimento e secagem (Souza & Reichardt, 1996) resultante do fenômeno de histerese (Taylor & Aschroft, 1972), visto que, no processo de umedecimento, predominam as forças de capilaridade ao passo que, na secagem, o vapor e os fenômenos de adsorção específica.

A substituição do conceito de AD, utilizado no IHO, pelo da água extraível (AE) foi sugerida por Ritchie (1981) e reforçada por Carlesso (1995). A AE é definida pela combinação particular solo-cultura, medido pela diferença entre o Θ_v após a drenagem, a partir de um umedecimento completo, e após a extração completa do perfil do solo pelas plantas. As incertezas relacionadas à

determinação da AD são entendidas pela dificuldade em relacionar a energia de retenção hídrica no solo e a taxa de liberação de água para as plantas (Narjary et al., 2012).

A importância das condições ambientais é compreendida uma vez que exercem uma pressão evolucionária na cultura dos grãos, onde 70% do potencial genético são perdidos, devido a causas de natureza físico-química (abióticas) (Kramer & Boyer, 1995). Em condições de estresse hídrico, a redução na duração do ciclo de desenvolvimento da soja pode resultar no encurtamento do período de enchimento de grãos da cultura (Franchini et al., 2009). Pequenas reduções na disponibilidade hídrica e de nutrientes podem restringir o desenvolvimento das plantas (Stevens et al., 2004), em especial no tocante a culturas comerciais (Boyle et al., 1991), por apresentarem maior sensibilidade a alterações no *status* hídrico do solo e atmosfera (Boyer, 1982). Mesmo em condições com irrigação, fertilidade química e manejos de cultivo adequados, esse autor observou rendimentos de culturas comerciais em torno de somente 20% do seu potencial.

A distribuição das chuvas e o regime de “pulsos” hídricos ao longo de um período de estiagem determinam a disponibilidade hídrica, moldando a estrutura e o funcionamento de ecossistemas (Schwinning et al., 2004). A resposta em produtividade difere quanto à regularidade no fornecimento de água (Harper et al., 2005). Há, portanto, em sistemas de produção de alimentos, a superveniência da disponibilidade hídrica e eficiência na exploração da “água verde” em relação aos demais fatores. Tal preocupação vai de encontro à afirmação de Davies & Gowing (1999), que as flutuações climáticas terão impactos substanciais na agricultura mundial, havendo aumentos na frequência e intensidade de períodos secos (Gutschick & Bassirad, 2003).

Em condições de estresse hídrico, Specht et al. (1999) observaram reduções no rendimento da soja em torno de 40%. Dependendo das características da cultivar, essa espécie requer em torno de 450 a 700 mm de água ao longo de seu ciclo (Dogan et al. 2007), com maior demanda nos estádios de florescimento e enchimento de grãos (Meckel et al., 1984). Conforme já ressaltado por Martins (2013), a produtividade da soja no

protocolo em estudo é dependente da distribuição de chuvas (Tabela 5) e não dos atributos de acidez do solo ou físicos, como a D_s .

A evolução das plantas quanto à percepção de alterações na disponibilidade hídrica do solo por intermédio de uma comunicação mais eficiente entre as raízes e a parte aérea (Morison & Morecroft, 2006) é uma explicação plausível para a sobrevivência e produção da soja (Tabela 4), assim como seus parâmetros fisiológicos observados (Figuras 8, 9 e 10). O sistema de comunicação pode, segundo Jones (1976), ser interpretado como uma maneira de evitar caos hidráulico, viabilizando a sobrevivência da cultura, completando seu ciclo de vida, antes da exaustão hídrica. Esta hipótese é corroborada pelo potencial da soja em integrar alterações de solos às atmosféricas, apresentando plasticidade fenotípica (Manavalan et al., 2009). Tal potencial pode ser elevado, dependendo do genótipo em questão (Centritto et al., 2004; Chaves & Oliveira, 2004).

O rendimento da soja em condição de estresse hídrico apresentou elevada correlação com a lâmina de água na camada mais superficial do solo (0-5 cm) (Figura 12) nos estádios de florescimento e enchimento de grãos (Janeiro e Março), em função da maior produção de resíduos e, conseqüentemente, menores perdas por evaporação. Embora não tenha sido avaliado, percebe-se o impacto das chuvas no rendimento de soja no SIPA (Tabela 5 e Figura 11), não apresentando relação entre os rendimentos relativos e a relação $D_s/D_{s_{CIHO}}$ (Figura 11). O aumento em 40 e 50 kg soja por mm de água nos meses de janeiro (florescimento) e março (final do enchimento de grãos) são suportados por Whitmore & Whalley (2009), que afirmam haver um aumento, durante a fase de enchimento de grãos, de 55 kg ha⁻¹ de grãos para cada mm de água absorvido.

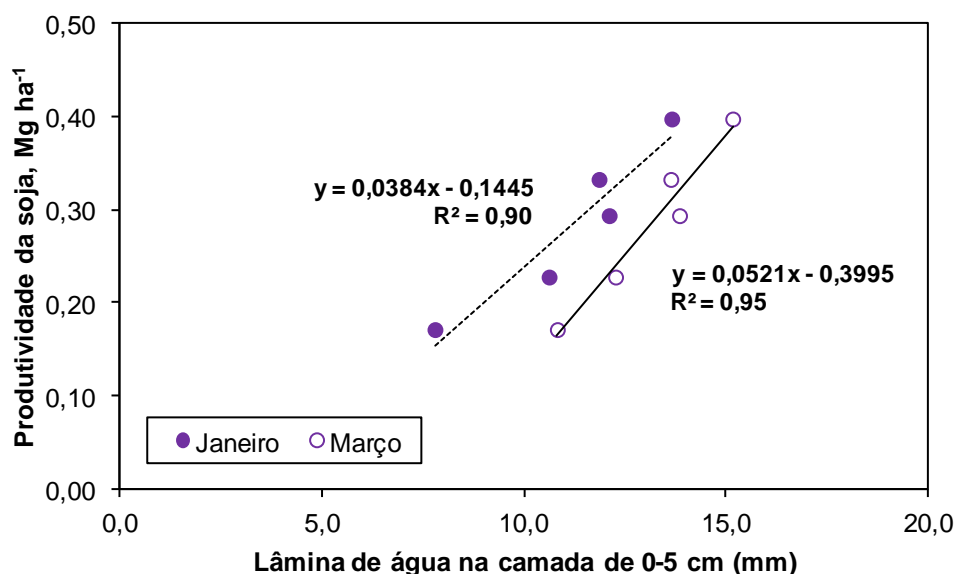


Figura 12. Relação do rendimento da cultura da soja com a lâmina de água na camada de 0-5 cm em Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo.

Embora os parâmetros fisiológicos da soja (Figuras 8, 9 e 10) tenham representado o elevado grau de estresse hídrico da cultura, Condon et al. (2004) enfatiza que decréscimos nos rendimentos em ambientes com baixa disponibilidade hídrica antecedem a ocorrência de sintomas de estresse, como a redução no potencial hídrico da parte aérea. Ainda, os elevados valores de temperatura do ar e DPV folha-ar, independentemente do sistema de manejo (Figura 10), contribuem para baixa EUA, aumentando a demanda transpiratória sem alteração simultânea na taxa fotossintética (Jones, 2004).

Contrário às culturas perenes, a capacidade de sobrevivência de culturas anuais não é importante dado ao curto período de desenvolvimento (Davies, 2006). Abertura é dada, nesta temática, ao questionamento quanto à utilização de cultivares de ciclo mais precoce, como a do presente estudo, NIDERA 6411 (Stefanello & Bonetti, 2011). Por outro lado, o prolongamento do ciclo vegetativo pode abrir espaço para perdas hídricas não-produtivas, reduzindo a EUA (Davies et al., 2002). Neste sentido, Bolaños & Edmeades (1996) alertam quanto a necessidade e forma de abordagens relacionadas a tolerância hídrica de cultivares de culturas anuais comerciais, como a soja.

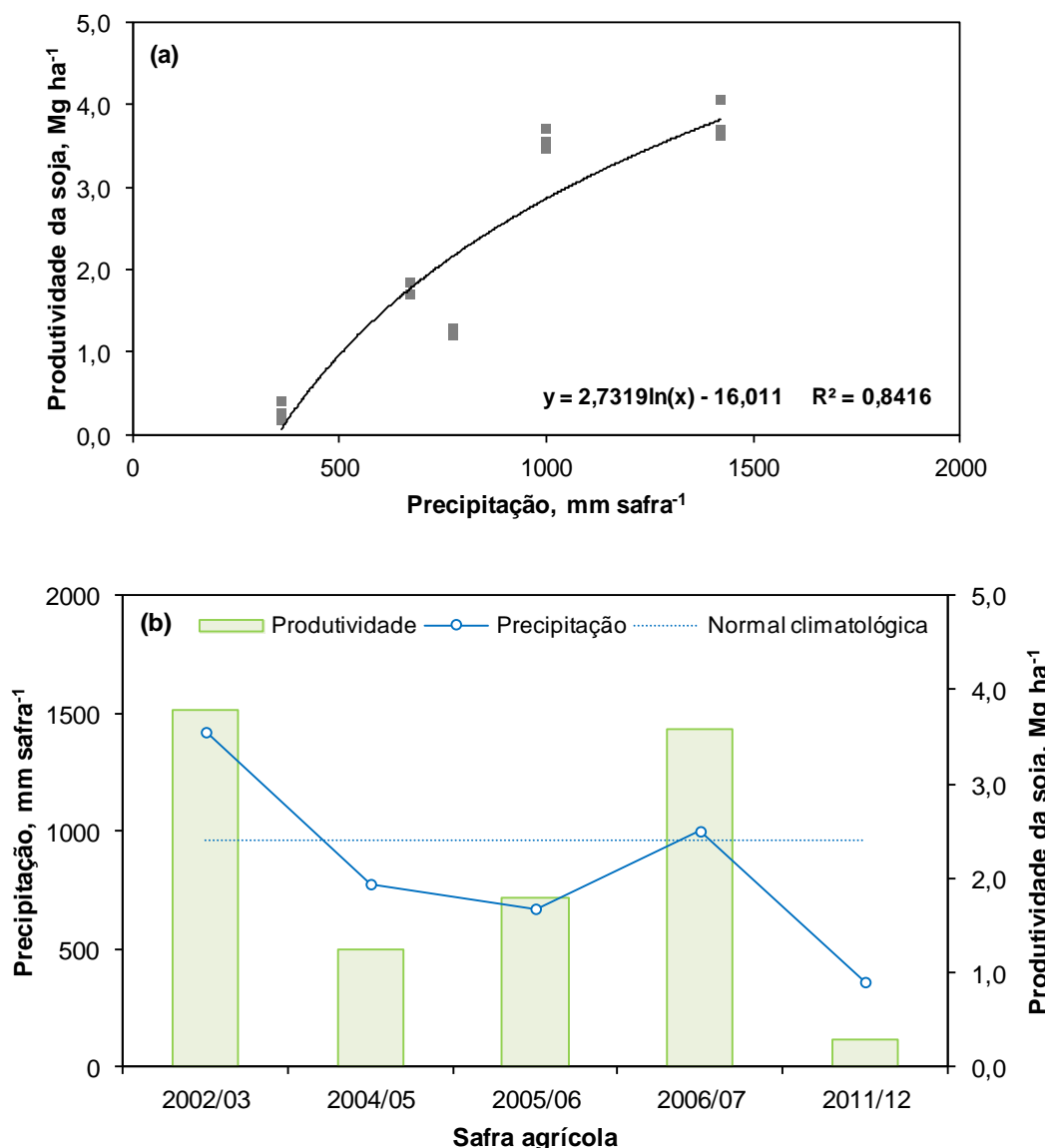


Figura 13. Produtividade de soja em função da precipitação em cinco diferentes safras (a) e comparativo com a normal climatológica do período (b) no sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo.

A complexidade da manutenção de rendimentos elevados em condições de estresse hídrico pode envolver processos que não estão diretamente relacionados à tolerância a seca ou relações hídricas (Richards, 1996), havendo, em um único órgão de crescimento, como o ápice radicular, o crescimento de células em regiões diferentes e em taxas distintas, apresentando diferentes graus de sensibilidade quanto a estresses, como redução no potencial hídrico celular (Sharp et al., 2004). Os valores de potencial hídrico na folha da soja (Figura 8) são indicativos de como esse

parâmetro pode não ser representativo da condição hídrica em condições extremas de baixa disponibilidade hídrica. Em nível celular radicular, em condições baixas e moderadas de queda no potencial hídrico do solo, espécies de oxigênio reativo aumenta a elasticidade das paredes celulares (Dumville & Fry, 2003), ao passo que, em condições extremas, elas podem danificar a integridade da membrana (Sharp et al., 2004). A partir da exploração de um maior volume de solo, há uma redução no impacto da secagem do solo na absorção hídrica pela competição radial entre raízes, principalmente em solos compactados (Davies, 2006).

Sendo o SPAMA um sistema aberto dependente de inúmeras modificações de natureza e períodos distintos, o entendimento como o SIPA impacta nos rendimentos, animal ou vegetal, passa por avaliações de longo prazo. Estas não só permitem entender a influência de fatores abióticos, como a distribuição das chuvas, assim como atributos de solo que podem, ao longo do tempo ganhar ou perder importância como indicadores de equilíbrio do sistema.

Analisando por este prisma o rendimento da soja neste SIPA traz questionamentos quanto a EUA, uma vez que o desenvolvimento radicular longe das zonas de depleção hídrica também se torna uma ferramenta eficiente para manutenção de rendimentos elevados em condições de estresse hídrico.

Outro ponto importante, quanto à EUA a ser discutido neste protocolo, é a disponibilidade de N no solo. Segundo Assmann et al. (2014), o protocolo em questão demanda ajustes quanto ao manejo da adubação nitrogenada, havendo, até o aquele momento (2010/11), queda nos estoques de N no solo, independentemente da intensidade de pastejo. O *status* de N no solo influencia na resistência das plantas ao déficit hídrico, onde aquelas nutridas adequadamente com nitrato tendem a apresentar pH mais elevado no xilema e no apoplasma (Mengel et al., 1994; Muhling & Lauchli, 2001). A alcalinização do pH apoplástico impacta no funcionamento das células guarda e expansão celular, assim como na influência do ácido absísico (ABA) em ambos processos. Sendo, de acordo com o conceito “anion-trap” e a equação de Henderson e Hasselbach, o ABA um ácido fraco (pK_a 4,8) há, pela elevação do pH, um tamponamento celular que restringe as perdas hídricas pela parte aérea (Wilkinson et al., 1998). O déficit hídrico reduz o transporte do nitrato

pelo xilema (Shaner & Boyer, 1976), havendo, no processo de secagem do solo, um estímulo na redução do nitrato da parte aérea até as raízes (Lips, 1997). Aumentos na disponibilidade de N, seja pela fixação biológica de N ou pela fertilização, elevam a condutividade hídrica radicular (Clarkson et al., 2000).

Por esse aspecto, os comportamentos encontrados no SIPA, tão bem visualizados na Figura 11, corroboram as indagações de Gubiani et al. (2013) e Moraes (2013) quanto a suficiência do IHO como indicador hídrico-mecânico do solo. Avanços na inserção de avaliações de fluxos (condutividade hidráulica) na metodologia do IHO foram sugeridos por Groenveld et al. (2001), dando origem ao termo *capacidade integral hídrica* (integral water capacity). Relacionar os fluxos hídricos ao teor hídrico móvel (água livre) pela dissipação do *momentum* (Germann & DiPietro, 1996), baseando-se na teoria de ondas cinemáticas (Lighthill & Whitham, 1955), seria outra forma de abordagem interessante para compreender melhor os processos que regem a extração hídrica pelas plantas.

A avaliação de parâmetros fisiológicos, principalmente a TF, parece ser uma peça adequada no “quebra-cabeça” do entendimento da percepção das plantas quanto ao SPAMA. Isto é um forte indicativo da necessidade por abordagens que busquem melhor entendimento quanto aos processos que ocorrem na planta. Em sistemas com semeadura direta e, principalmente em SIPA com pastejo, a compactação do solo deve ser abordada de uma maneira diferente, uma vez que, em condições de pastejo moderado, pode haver uma compactação benéfica ao sistema. Curvas insatisfatórias de PT e Ds, maior reposta no rendimento de grãos em graus de compactação na faixa de 95-106% e dependência das condições climáticas (Hakansson & Lipiec, 2000) e da umidade do solo (Lipiec & Hakansson, 2000) suportam a dependência da produtividade a um determinado grau de compactação.

O fator tempo não deve ser olvidado quando da avaliação de sistemas de produção com maior número de componentes, como o SIPA. Avaliações de longo prazo, como a de Fernández et al. (2007), salientam da dependência das lavouras na distribuição das chuvas, inclusive, sobrepondo o estado de compactação do solo. Abordagens como a de McGregor et al. (1999), que monitoraram os rendimentos da soja ao longo de 14 anos em

sistema plantio direto e convencional, incluindo a variável tempo na equação de ajuste entre as diferenças observadas, devem ser realizadas em SIPA. A partir dessa abordagem McGregor et al. (2006) puderam sugerir alterações no sistema de sucessão/rotação de culturas no SPD que, embora superasse o convencional nos rendimentos de soja, apresentava quedas significativas em anos com déficit hídrico.

O histórico dos rendimentos da soja em anos com frustrações hídricas, do protocolo em questão, reforça a essencialidade da utilização de rotação de culturas em sistemas integrados de produção. Linha esta, corroborada por Franchini et al. (2009), ao afirmarem que o aumento da estabilidade da produção de soja face à ocorrência de períodos de deficiência hídrica requer o uso de sistemas de rotação de culturas que contemplem a implantação de espécies de plantas com grande capacidade de produção de biomassa, que se caracterizam por sistema radicular abundante e profundo.

Em SIPA com forrageiras hibernais, cuidado deve ser tomado quanto à permanência da palhada no solo, pois apresentam valores inferiores às forrageiras tropicais (Franchini et al., 2009). A maior permanência dos resíduos do pasto na ausência do pastejo, como verificado por Assmann (2013), no presente experimento, traz indagações quanto ao manejo do resíduo no sistema e a necessidade do uso de culturas de verão com maior produção e diferente qualidade de palhada.

4.4. Conclusões

Em sistema integrado de produção agropecuária em plantio direto e de longa duração ocorre tanto a compactação superficial, devido à maior intensidade de pastejo.

Em condições de estresse hídrico, os sistemas sem e com pastejo moderado contribuem com maior eficiência para homeostase da cultura da soja, pelos maiores valores de potencial hídrico da folha, menores temperaturas da folha em relação à do ar e temperatura da folha, tanto no período da manhã como no de maior estresse hídrico da planta (meio dia).

A disponibilidade de água é indispensável na avaliação do sistema solo-planta-atmosfera-máquina-animal, influenciando no processo de absorção hídrica e perdas transpiratórias, independentemente do manejo do pastejo.

O intervalo hídrico ótimo, mensurado pela D_s , é ineficiente como indicador da qualidade física do solo em sistema integrado de produção com soja e bovinos de corte, seja em anos com ou sem déficit hídrico.

5. CAPÍTULO IV. ESTUDO 2 – AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO PASTEJO NA AVEIA EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NO SUB-TRÓPICO BRASILEIRO POR UMA NOVA PERSPECTIVA: O ESTADO HÍDRICO DO PASTO

5.1. Introdução

Perante as tendências socioeconômicas o maior desafio da pesquisa no setor agropecuário é dobrar a produção de alimentos nos próximos 40 anos (Sposito, 2013), para acompanhar o aumento da população mundial (Tilman et al., 2011). Neste cenário, a estagnação nos patamares de produtividade e a competição por áreas produtivas com o setor de biocombustíveis somente aumentam os desafios a serem enfrentados (Gregory & George, 2011). Com a menor quantidade de água per capita nas economias emergentes (Gregory & Nortcliff, 2013), a maior frequência de estiagens (Adeloye, 2010) e se tratando do “biomaterial mais complexo do planeta” (Young & Crawford, 2004), é necessário entendimento quanto à dinâmica da água no solo para que haja um manejo integrado dos recursos hídricos (Verhoef & Egea, 2013).

O entendimento dos ciclos hidrológicos e a implicação de manejos adequados em sistemas de produção agropecuária passam pelo entendimento das interações entre o solo a planta, o animal e a atmosfera (Gordon et al., 2007). As regiões tropicais e subtropicais têm uma contribuição significativa nos fluxos de vapor globais, destacando-as como áreas importantes na produção de alimentos (Gordon et al., 2005). No Rio Grande do Sul (região subtropical), essa importância aumenta pela capilaridade da agropecuária na matriz produtiva estadual, onde a cada R\$ 1,00 e a cada empregado a menos

no setor, perde-se respectivamente, R\$ 2,30 e 1,5 empregados no conjunto da economia (Fochezatto & Grando, 2009).

Considerando as dimensões econômicas e ambientais, o SIPA promove um equilíbrio no qual, comparado a sistemas puros (lavoura ou pecuária), nem sempre é o sistema mais eficiente, mas nunca o menos eficiente (Ryschawy et al., 2012). Em sistemas de produção com pastejo ocorrem alterações nos fluxos hídricos e o manejo adequado dos animais é crítico para a manutenção do equilíbrio vegetação-clima, inclusive, influenciando a intensidade e a distribuição das precipitações (Gordon et al., 2007). Essa coordenação só é viabilizada pelo sinergismo resultante do manejo adequado dos ciclos de pastejo e das culturas de produção de grãos e/ou fibras (Hendrickson et al., 2008). Busca-se o entendimento das funções ecossistêmicas, por meio de retroalimentações (ciclagem dos nutrientes e ciclagem hídrica), em que o SIPA não represente a justaposição de duas unidades intensivas de produção (Ryschawy et al., 2012).

O ciclo de pastejo apresenta peculiaridades em relação ao ciclo de produção de grãos, visto a interferência do animal nos fluxos energéticos do sistema, assim como pelas características morfofisiológicas diferenciadas das pastagens em relação às culturas para produção de grãos. O pastejo modifica a dinâmica (padrão) de desenvolvimento das raízes e da absorção hídrica em função do desenvolvimento contínuo das pastagens (Vadez et al., 2013). Diante destas diferenças, não menos seja a importância do monitoramento da disponibilidade hídrica ao longo do ciclo de pastejo, especialmente, quando há intensidades distintas. Desta forma, torna-se evidente a necessidade de entender as interações em diferentes níveis organizacionais da planta (Kudoyarova et al., 2013).

Tentativas para avaliar o SPAMA por intermédio de atributos do solo, principalmente àqueles relacionados à física em condições de excesso ou déficit hídrico (Unger & Kaspar, 1994) têm sido realizadas. De acordo com Letey (1985), o solo é um “reservatório” hídrico em um sistema aberto, não existindo uma “condição física universal ótima”. Compreende-se, assim, a divergência existente entre os impactos do pisoteio animal em sistemas de produção com pastejo, ao mesmo passo que maior atenção vem sendo dada

para a capacidade de recuperação do solo em função do manejo imposto, denominada “resiliência” (Bavoso et al., 2013).

Por outro lado, a retroalimentação existente entre o solo e a planta não pode ser excluída das avaliações do SPAMA (Sposito, 2013). A inacurácia de modelos para expressar a interação entre os componentes físicos do solo (Hodge, 2009; Passioura, 2002), em paralelo à demanda por entender o movimento de nutrientes e da água existente no sistema (Tinker & Nye, 2000; Stirzaker & Passioura, 1996), são indicativos convincentes da necessidade de inserção de parâmetros fisiológicos na avaliação de sistemas de produção de alimentos. Não menos importante, Jones (2004) ressalta a limitação de abordagens baseadas somente na umidade do solo em função de inúmeros atributos fisiológicos de plantas responderem diretamente às alterações no seu estado hídrico (do tecido) ao invés da umidade do solo (Ψ_s). Duas ferramentas têm se destacado na avaliação do estado hídrico das plantas e, conseqüentemente, do impacto do sistema de manejo adotado no equilíbrio dos sistemas de produção, o potencial hídrico (Ψ_{wf}) e a temperatura da folha (TF) (Jones, 2014).

A manutenção da temperatura nas plantas é realizada pela hidratação; assemelha-se a um “radiador” em um veículo. A temperatura da folha (TF) influencia na funcionalidade enzimática, solubilização do CO_2 e taxa de transpiração (transporte de nutrientes) (UGA, 2012). A TF tem, inclusive, sido utilizada para avaliações de resistência estomática (Smith & Barrs, 2010) bem como, com os avanços no sensoriamento remoto, promovido melhorias na habilidade para detecção e quantificação de estresses bióticos e abióticos que afetam o rendimento de lavouras (Hatfield & Pinter Jr, 2010).

O desenvolvimento das plantas depende do fluxo hídrico que carrega íons do solo para a raiz e, posteriormente, para os demais compartimentos da planta. Esse fluxo, de acordo com Chapman et al. (2012), depende do Ψ_{wf} , da condutividade hidráulica e da demanda transpiratória. O monitoramento do Ψ_{wf} é importante ao longo de períodos de transpiração intensa, representando o estado hídrico do solo, a demanda evaporativa e a taxa transpiratória (Jones, 2014).

Embora a TF e o Ψ_{wf} tenham sido, de maneira eficiente, utilizados como indicadores de sensibilidade de estresse na avaliação de sistemas de

produção simples, como semeadura direta e silvicultura, a sua utilização na avaliação das condições do pasto em sistemas integrados de produção é escassa. Assim, a utilização de tais parâmetros fisiológicos para avaliar o impacto de intensidades de pastejos em sistemas de produção mais complexos, como a integração lavoura-pecuária, pode representar um avanço quanto ao entendimento dos fluxos e processos que ocorrem no SPAMA.

O presente trabalho testará, então, a seguinte hipótese: a inserção de indicadores fisiológicos na avaliação da condição hídrica do *continuum* solo-planta-atmosfera promove melhorias quanto ao entendimento do impacto da intensidade de pastejo no estado hídrico da aveia no SPAMA.

Objetivou-se, dessa forma, avaliar o impacto de intensidades de pastejo, em um Latossolo Vermelho distroférico manejado há 11 anos com sistema integrado de produção soja-bovinos de corte em plantio direto, no estado hídrico do solo e da aveia, pelo monitoramento das condições hídricas do solo e da planta.

5.2. Material e Métodos

No Capítulo III, foi caracterizada a área experimental e apresentados o seu histórico, a condução do protocolo e os procedimentos de amostragem e análise. No presente estudo, são abordadas as especificações quanto à condução da pastagem e amostragens referentes ao período de avaliação. Desta forma, tanto os horários, como as metodologias descritas para o monitoramento da umidade do solo e do estado hídrico da soja na safra 2011/12, também foram utilizadas para a aveia no ciclo de pastejo. Cabe ressaltar que, em função de problemas técnicos e da dificuldade na obtenção de ferramentas adequadas para avaliar as plantas de azevém, as análises fisiológicas foram somente realizadas na cultura da aveia preta.

Para este estudo, conforme descrito anteriormente os tratamentos considerados foram: a) área sem pastejo, b) pastejo intenso (10 cm) e c) pastejo moderado, representado pela média entre os tratamentos com 20 e 30 cm de altura do pasto. As amostragens, conforme salientado anteriormente, foram somente realizadas no primeiro bloco experimental, com sub-amostragens realizadas dentro do primeiro bloco experimental.

5.2.1 Condução do ciclo de pastejo em 2012

A aveia preta comum e o azevém anual comum foram semeados, em linha e à lanço, respectivamente, nas densidades de 50 e 25 kg ha⁻¹, respectivamente, no dia 24/04/2012. Cabe ressaltar que, diferentemente dos demais anos em que o azevém se estabelecia por ressemeadura natural, neste ciclo foi necessária, em função da baixa densidade populacional observada no ciclo de pastejo anterior, a semeadura à lanço para a obtenção de uma densidade de plantas adequada. Em função dessa alteração, a adubação também foi modificada, aplicando-se, na semeadura, 340 kg da formula 00-25-25 e duas aplicações de N, nos dias 24/05 e 23/06, nas doses de 130 e 80 kg ha⁻¹ de N.

Novilhos, com aproximadamente 12 meses e 212 kg de peso vivo, entraram na área experimental no dia 03/07/2012, quando a produção de matéria seca atingiu 2.200 kg ha⁻¹ (representando uma altura média de 30 cm) (Pfeifer, 2013). Foram utilizados 76 novilhos no experimento, sendo que 36 deles constituíram animais-teste, que permaneceram em pastejo ao longo de todo o período experimental. O período de pastejo foi de 122 dias, com a retirada dos animais da área no dia 02/11/2012.

5.2.2 Monitoramento meteorológico

Em novembro de 2011, foi instalada uma estação agro meteorológica Nexus modelo 35.1075.1 dentro da área experimental. A estação forneceu dados referentes aos eventos pluviais, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento e temperatura do ar. A partir desses dados, se obteve a distribuição pluviométrica e da temperatura do ar ao longo do ciclo de pastejo (Figura 13).

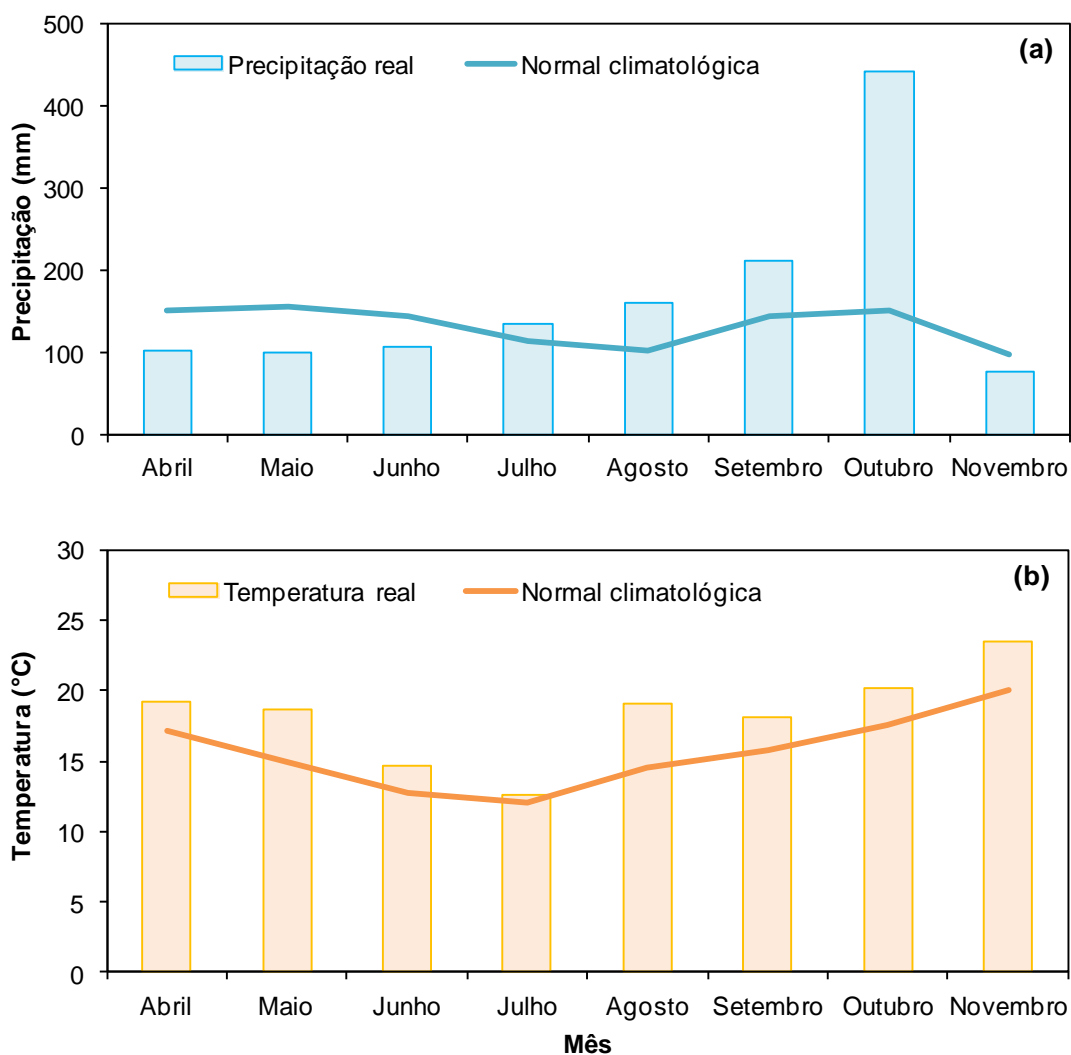


Figura 14. Precipitação (a) e temperatura do ar (b) históricas e ao longo do ciclo de pastejo de 2012 na área experimental (São Miguel das Missões RS).

5.2.3 Análises estatísticas

Em função da utilização de somente um bloco experimental com todos os tratamentos em questão, o presente estudo foi analisado como um delineamento inteiramente casualizado, considerando-se como repetições, as unidades amostrais coletadas de forma independente em cada tratamento, conforme proposto por Ferreira et al. (2012). Os resultados das avaliações relativas ao estado hídrico das plantas de aveia foram analisados separadamente (manhã e tarde) pela análise de variância (ANOVA) e análise de contraste com nível de significância de 0,05 pelo programa SAS (2002). O seguinte modelo estatístico foi utilizado para a ANOVA:

a) Densidade do solo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \text{erro a} + C_j + \text{erro b} + TC_{ij} + \text{erro c} (ijk)$$

Onde: μ = média geral dos tratamentos; T_i = tratamentos de pastejo ($i = 1, 2, 3$); C = camadas do solo avaliadas (1, 2, 3, 4 e 5) e erro = erro experimental, obtido pela interação entre os tratamentos, conforme proposto por Anderson & McLean (1974).

b) Estado hídrico da planta de aveia

Para as avaliações fisiológicas da planta os períodos foram analisados separadamente (manhã e tarde), utilizando-se o seguinte modelo.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \text{erro a} + C_j + \text{erro b} + TC_{ij} + \text{erro c} (ijk)$$

Onde: μ = média geral dos tratamentos; D = dia da amostragem ($j = 1, 2, 3, 4, 5$); T = intensidades de pastejo ($k = 1, 2, 3$); Repetições ($k = 1, 2, 3, 4$); e erro = erro experimental.

5.3. Resultados e Discussão

5.3.1. Distribuição das chuvas e da temperatura do ar ao longo do ciclo de pastejo

A distribuição de chuvas ao longo do ciclo de pastejo de 2012 foi semelhante à média histórica (Figura 14a). Cabe, no entanto, ressaltar volumes, em relação a média histórica, mais baixos nos três primeiros meses de avaliação: abril, maio e junho. Neste período, ocorreu o estabelecimento da pastagem, sendo importante um volume de água suficiente para a sua implantação. Por outro lado, a partir de julho, volumes maiores de chuva foram observados até o final do ciclo de pastejo, em novembro.

Comportamento distinto foi observado quanto à temperatura do ar, com valores mais elevados em relação à média histórica ao longo de todo o ciclo de pastejo (Figura 14b). As diferenças verificadas atingiram valores altos, acima de 3^oC, tanto no período de estabelecimento do pasto quanto ao longo do pastejo.

Em protocolos com intensidades de pastejo de longo prazo, a produtividade da pastagem é grandemente afetada pela distribuição das chuvas que, muitas vezes, supera o impacto das pressões de pastejo (Milchunas et al., 1994). Mesmo não sendo o principal foco deste trabalho, regimes de temperatura e chuva que diferem das normais, dependendo da magnitude na qual ocorrem, podem demandar ajustes no manejo do ciclo de pastejo (Baars et al., 1990). As temperaturas mais elevadas podem, além de influenciar na taxa de crescimento da pastagem, alterar a composição do pasto (Gillingham, 1973), fato este importante em sistemas, como do presente estudo, composto por duas espécies (azevém + aveia preta).

5.3.2. Umidade no perfil do solo ao longo do ciclo de pastejo

Para a determinação da Θ_v no perfil do solo ao longo do ciclo de pastejo, foi necessária a obtenção da D_s nas camadas avaliadas após a colheita da soja. Desta forma, em função dos impactos dos tratamentos na D_s , será discutido o comportamento da D_s nessa época antes da abordagem referente à Θ_v .

Observa-se que as intensidades de pastejo acarretaram em comportamentos distintos na D_s após soja (Figura 15). Embora tenha havido o mesmo padrão de resposta ao manejo, a magnitude dos valores de D_s ao longo do perfil do solo, independentemente do sistema de manejo, foi diferente do observado após o pastejo em 2011 (Figura 5). Esta diferença foi mais expressiva na camada mais superficial, até 10 cm, não havendo, diferentemente do verificado pós pastejo (Figura 5), diferença entre os tratamentos. Nessa camada, os valores antes (pós pastejo), entre 1,35 e 1,45 Mg m^{-3} , baixaram para a faixa de 1,30 e 1,40 Mg m^{-3} . Independentemente do tratamento ou profundidade, a D_s pós soja não superaram o limite crítico do IHO (1,41 Mg m^{-3}).

As diferenças na dinâmica da D_s no perfil do solo, entre os ciclos pós pastejo e pós soja, no mesmo protocolo experimental com diferentes intensidades de pastejo, já haviam sido verificadas anteriormente por Conte et al. (2011). Estes autores enfatizaram a redução nos valores de D_s pós soja em relação ao final do ciclo de pastejo. Outro aspecto importante na evolução da

Ds em SIPAs, nem sempre contemplado, é a mobilização do solo, que ocorre na operação de semeadura. Os volumes de solo mobilizados na camada superficial podem ser significativos em função do teor de argila do solo e do modelo de maquinário utilizado (Conte et al., 2011). Não menos importante, é a resiliência hídrica e física do solo, uma propriedade emergente que poderá, em futuras abordagens, levar a um maior aprofundamento no conhecimento dessa temática.

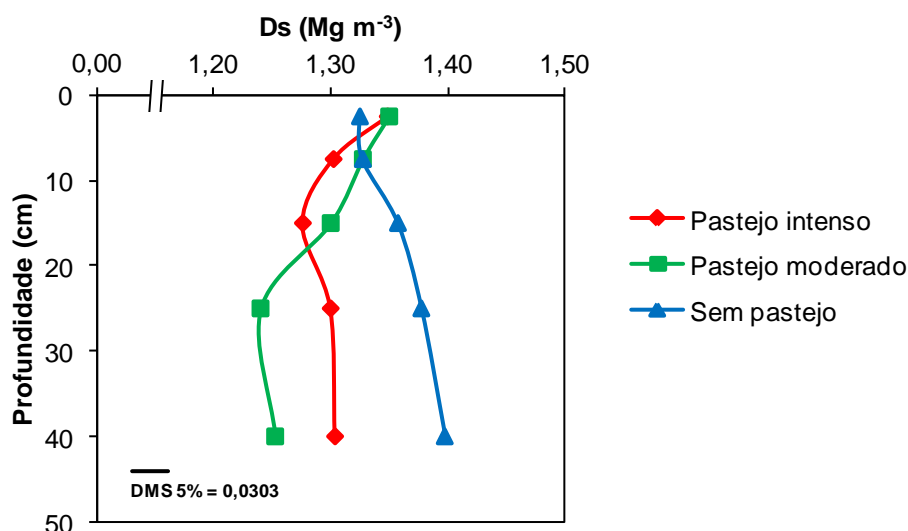


Figura 15. Densidade do solo (Ds) no perfil de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema integrado soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo após o ciclo da soja (abril/maio de 2012). Barra na horizontal representa a diferença mínima significativa pela análise de contrastes a 5% de significância.

O comportamento da Θ_v no perfil do solo em função dos sistemas de manejo apresentou um dinâmica diferente antes e após a entrada do animais na área experimental (Figura 16). Na janela de tempo entre a semeadura da pastagem (24/04/2012) até a entrada dos animais para o pastejo (03/07/2012), o sistema SP apresentou maior Θ_v no perfil do solo (Figura 16 a, b e c). Esta diferença foi maior nas camadas mais superficiais, até 10 cm de profundidade. Por outro lado, após o início do pastejo, não foram mais detectadas diferenças entre o SP e os tratamentos pastejados, independentemente das intensidades, moderada ou intensa (Figuras 16 d, e, f). Ressalta-se que as alterações na Θ_v ocorreram tanto na camada de 0-20 cm, como na camada de 20-50 cm. Ainda, ao final do ciclo de pastejo, no mês de outubro, na camada mais superficial (0-5

cm), o SP apresentou maior Θ_v em relação aos sistemas pastejados, independentemente da intensidade de pastejo (Figura 16 f).

A partir do enfoque sistêmico, a umidade que permanece no solo após o ciclo de pastejo é fundamental para o posterior cultivo da soja. Assim, maior Θ_v no SP entre a semeadura da pastagem e a entrada dos animais resulta da maior manutenção de água nesse tratamento ao longo do ciclo da soja (Figura 7). A maior cobertura do solo, em função da maior produção de resíduo de aveia preta e azevém ao longo do ciclo hibernal (Carvalho et al., 2011) minimiza as perdas por evaporação, possibilitando um maior armazenamento de água no solo. Embora cultivos em linha, como na cultura da soja, possam gerar gradiente hidromecânico em função da absorção próxima as plantas (Yoshida & Adachi, 2001), a porcentagem do solo coberta com resíduos ainda permanece como a ferramenta mais importante para aumentar a ciclagem hídrica em sistemas de produção de alimentos (Verburg et al., 2004).

A Θ_v no momento da semeadura é crítica para o rendimento final do sistema de pastejo (Vadez et al., 2012). Este ponto ganha magnitude ao considerar que o acumulado em chuvas nos três primeiros meses do ciclo de pastejo foi aproximadamente 60 mm menor em relação ao histórico da área (Figura 14a). Neste contexto, Zaman-Allah et al. (2011) ressaltam a importância da disponibilidade de água nos momentos críticos das plantas, sendo mais importante que a extração total de água ao longo de seu ciclo. A contínua absorção hídrica por plantas forrageiras depende de um estabelecimento adequado, tornando a Θ_v nos primeiros dias após a semeadura, primordial para o sucesso do ciclo de pastejo (Hafner et al., 1993). Ainda, no longo prazo, a magnitude da produção de forragem é mais sensível às flutuações anuais da precipitação ao invés das intensidades de pastejo (Milchunas et al., 1994). Todavia, estes autores, ressaltam a importância da liteira na manutenção de água em sistemas pastejados, onde pastejos intensos apresentam menor capacidade de reposta a chuva em relação ao pastejo moderado. Embora, a produção de resíduo ao final do cultivo de soja seja baixo, independentemente do manejo utilizado, a permanência dos resíduos das gramíneas de inverno no SIPA em questão parece promover melhorias na estruturação do solo e, conseqüentemente, no armazenamento hídrico.

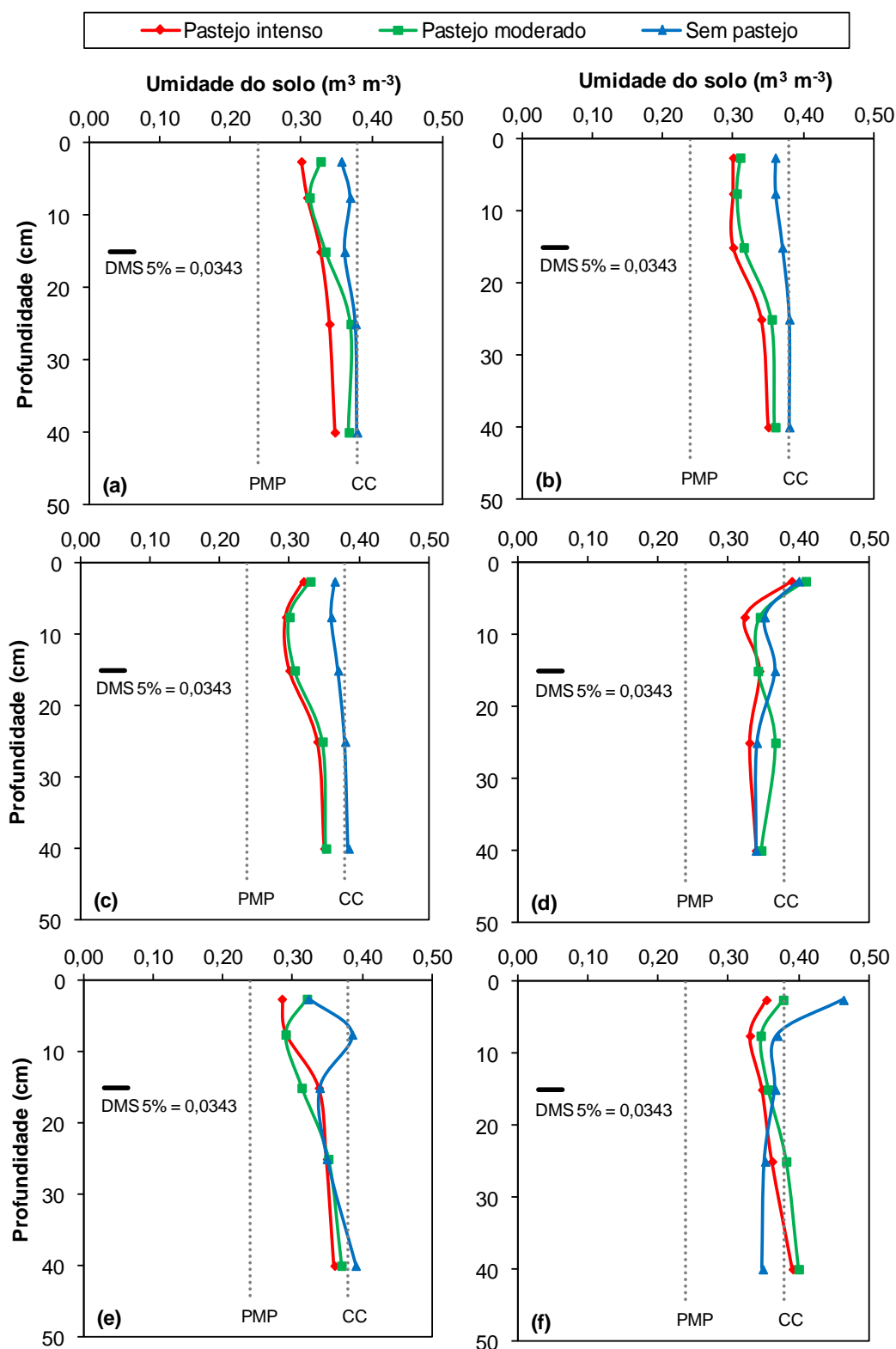


Figura 13. Umidade volumétrica ao longo do ciclo de pastejo, nos meses de maio (a), junho (b), julho (c), agosto (d), setembro (e) e outubro (f), no perfil de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema integrado soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo. CC = capacidade de campo. PMP = ponto de murcha permanente.

O impacto negativo do pastejo intenso no armazenamento hídrico no presente estudo só vem a corroborar com outros, que verificaram redução na condutividade hidráulica do solo (Willatt & Pullar, 1984) e na taxa de infiltração de água (Bell et al., 2011) em condições de manejo adequado ao longo do ciclo de pastejo. Por outro lado, Franzluebbbers et al. (2011) reforçam que o manejo adequado dos animais, com manutenção da cobertura do solo, redundam em condições hidrológicas adequadas para produção de pasto. Manejos que possibilitem taxas adequadas de desfolha, como o pastejo moderado, neste estudo de longo prazo são, segundo Greenwood & Mckenzie (2001), a principal ferramenta para a manutenção de condições físicas do solo apropriadas para o desenvolvimento das plantas.

O estabelecimento mais rápido das pastagens é uma ferramenta eficiente para redução dos riscos de perdas hídricas não produtivas (evaporação e escoamento superficial), assim como aumento na conversão de água em biomassa (Turner, 2004). Adequar o manejo do SIPA para possibilitar menores perdas hídricas não-produtivas, parece ser um novo desafio que se enquadra na afirmação de Foley et al. (2011), de não haver limitações para dobrar os rendimentos de produção de alimentos mas, a possibilidade de aumentar os fluxos hídricos produtivos. A menor Θ_v nos tratamentos pastejados ao início do ciclo pastejo, em sequência a um período de seco (Figura 3), indica a necessidade de uma visão do “sistema” ao invés do foco em ciclos isoladamente.

A alteração na distribuição hídrica no perfil do solo após a entrada dos animais em Julho (Figura 16 d, e e f) demonstra o impacto do pastejo nos fluxos hídricos no SPAMA. Afora a maior contribuição das precipitações no segundo semestre do ciclo de pastejo (agosto até outubro) (Figura 16 a), o aumento na Θ_v nos tratamentos pastejados, independentemente da intensidade de pastejo, ocorreu até a camada mais profunda (30-50 cm).

O desenvolvimento das forragens é modificado pelo pastejo, influenciando a distribuição radicular no solo e, conseqüentemente, o ciclo e manutenção hídrica no solo (Angers & Caron, 1998). No longo prazo, em SIPAs, o pastejo promove alterações na organização do solo, podendo aumentar a sua capacidade de recuperação por meio de processos biológicos

e físicos, muitas vezes não detectados por avaliações estáticas (Logsdon & Karlem 2004). Modificações funcionais, como na condutividade hidráulica e do ar e no índice de continuidade de poros, em função do pastejo (Moreira et al., 2012), podem ter contribuído para facilitar a redistribuição da água no perfil do solo, como verificado no presente estudo.

O crescimento contínuo da parte aérea da forragem promovido pelo pastejo induz em maior desenvolvimento radicular, visto a proximidade na coordenação entre a raiz e a parte aérea (Palta et al., 2011). Desta maneira, o pastejo pode acelerar a taxa de crescimento da forragem e maximizar a EUA. Mesmo que as intensidades de pastejo tenham apresentado semelhança no comportamento da distribuição hídrica no perfil do solo (Figura 16) a produtividade hídrica do sistema é diferente, visto que há uma correlação positiva entre a mesma e a produtividade animal (Mekonnen et al., 2011). No protocolo avaliado, embora o pastejo intenso resulte em maiores ganhos de peso por hectare, o pastejo moderado (Tabela 3), em função da melhora qualidade do pasto, supera o sistema intensificado, pois resulta em ganhos semelhantes de peso por área e qualidade de carcaça superior, fator indispensável para comercialização do produto final (Carvalho et al., 2011). Ponderações, no entanto, devem ser levantadas, levando em conta a diferença no ganho de peso por área e a precificação da carcaça por qualidade, uma vez que o sistema também deve ser viável do ponto de vista financeiro.

A redistribuição hidráulica no solo promovida pelo pastejo, com aumentos na Θ_v ao longo do perfil, principalmente no meio do ciclo de pastejo (agosto e setembro), foi alvo de outros estudos, embora em sistemas puros. Assim, fenômeno da transferência hídrica de camadas mais profundas do solo para a superfície mais seca é denominado de ascensão hidráulica (Richard & Caldwell, 1987). Embora abordagens relacionadas a esse fenômeno tenham sido focadas no contexto ecológico (Caldwell et al., 1998), os resultados observados neste estudo dão abertura a futuras investigações, com maior grau de detalhamento, quanto à dinâmica da água em SIPAs. Resultados obtidos por Skinner (2004) e Skinner et al. (2004) demonstraram as vantagens de inserção de plantas forrageiras na EUA. Mesmo que a quantidade de água necessária por unidade de forragem seja menor em pastagens anuais (UCLA, 2012), como no presente estudo, a habilidade em captar água do solo,

conservá-la e utilizá-la com maior eficiência permanece como o maior desafio para sistemas de produção de alimentos que almejem a intensificação sustentável (Vadez et al., 2013).

Mesmo diante da avaliação de todos os tratamentos em somente um único bloco experimental, é possível levantar questões importantes em relação à dinâmica da água no solo em sistema integrados de produção agropecuária. Por exemplo, é intrigante verificar o impacto do pastejo na Θ_v até a camada de 30-50 cm. Da mesma forma, é possível enfatizar a necessidade de melhor conhecer a distribuição radicular espacial, uma temática carente de estudo. Levando em conta que a profundidade final de extração hídrica pode ser até 40 cm mais profunda que a profundidade radicular (Parker et al., 1989) e do antagonismo existente entre a produção de biomassa e a conservação hídrica no solo (Passioura, 2012), a influencia das intensidades de pastejo na fenologia das forragens e duração de seu ciclo em SIPAs, deve ser aprofundada. Adequações no manejo do SIPA que viabilizem uma maior disponibilidade hídrica para o cultivo subsequente de verão são inevitáveis para aumentar a EUA neste sistema de produção, visto da capacidade de armazenamento de “água verde”, no solo, como verificados no presente estudo (Figura 16).

5.3.3. Estado hídrico da aveia no ciclo de pastejo

O estado hídrico da aveia (TF e Ψ_{wf}), independentemente do horário da avaliação, ao longo do ciclo de pastejo apresentou dinâmica distinta entre a janela da semeadura até a entrada dos animais (0 a 69 DAS) e do início ao final do pastejo (70 aos 122 DAS) (Figura 17). O impacto do pastejo na TF e Ψ_{wf} diferiu tanto quando a planta se encontrava em uma condição de estabilidade hídrica, TF_b e Ψ_{wfb} , como no período de maior estresse hídrico, TF_m e Ψ_{wfm} . Destaque é dado aos altos valores de TF_b , independentemente do sistema de produção, nos meses de maio e junho, chegando a atingir 20° C. O efeito residual do severo estresse hídrico observado no protocolo ao longo do ciclo de cultivo da soja (Figuras 3, 7, 8 e 9) podem explicar os valores observados no início do ciclo da aveia.

Em função do exposto, a discussão a seguir aborda o estado hídrico da aveia em duas condições distintas, com e sem animais na área. Ainda, em

função da ausência de estudos desta natureza em SIPA, o foco principal da discussão será a magnitude das diferenças entre os tratamentos e não a magnitude dos valores em si.

Nos dois primeiros meses do ciclo de pastejo, maio e junho (ainda sem a presença dos animais), a aveia no pastejo intenso apresentou valores mais altos de TF_b ($P < 0,05$) e mais baixos de Ψ_{wfb} ($P < 0,05$), em relação ao pastejo moderado e SP, que não diferiram entre si (Figura 17). Por outro lado, no mês de Julho, no qual a precipitação total excedeu a média histórica (Figura 14a), independentemente da intensidade de pastejo, o SP apresentou maior Ψ_{wfb} ($P < 0,01$) e menor TF_b ($P < 0,05$).

O estado hídrico da aveia no horário de maior estresse hídrico (Figura 17 b), nos meses de maio e junho, foi semelhante ao verificado no período matinal (Figura 17 a). Assim, o pastejo intenso resultou em mais estresse hídrico da aveia, pelos valores mais altos de TF_m ($P < 0,05$) e mais baixos de Ψ_{wfm} ($P < 0,05$) em relação ao pastejo moderado e SP, que não diferiram entre si. Já no mês de julho, o comportamento observado ao meio dia diferiu do turno da manhã, não havendo diferenças entre os tratamentos, tanto na TF_m como no Ψ_{wfm} , independentemente da intensidade de pastejo (Figura 17b).

A visão sistêmica, quando da escolha do manejo dado a um SIPA, advém das retroalimentações que ocorrem entre os ciclos de cultivo (Franzluebbbers, 2008). A maior Θ_v no SP ao final do ciclo da soja (Figura 7f), influenciou a Θ_v nos primeiros meses do ciclo de pastejo, 33 a 35, 52 a 54 e 67 a 69 DAS, respectivamente (Figuras 16 a, b e c). A importância dessa água “residual” em sistemas de produção de alimento foi ressaltada por Passioura e Angus (2010). Desta forma, a ordem do grau de estresse hídrico da aveia seguiu a distribuição da Θ_v com pastejo intenso > pastejo moderado > SP, tanto ao final do ciclo da soja como nos primeiros meses do ciclo de pastejo, principalmente, nas camadas mais superficiais, até 10 cm de profundidade. Esses autores alertam quanto à participação da água residual na produtividade hídrica de um sistema de produção. Esta linha de pensamento é reforçada por Ritchie (1981), que concluiu que o manejo aplicado ao sistema de produção é que rege a quantidade de água “residual” no sistema.

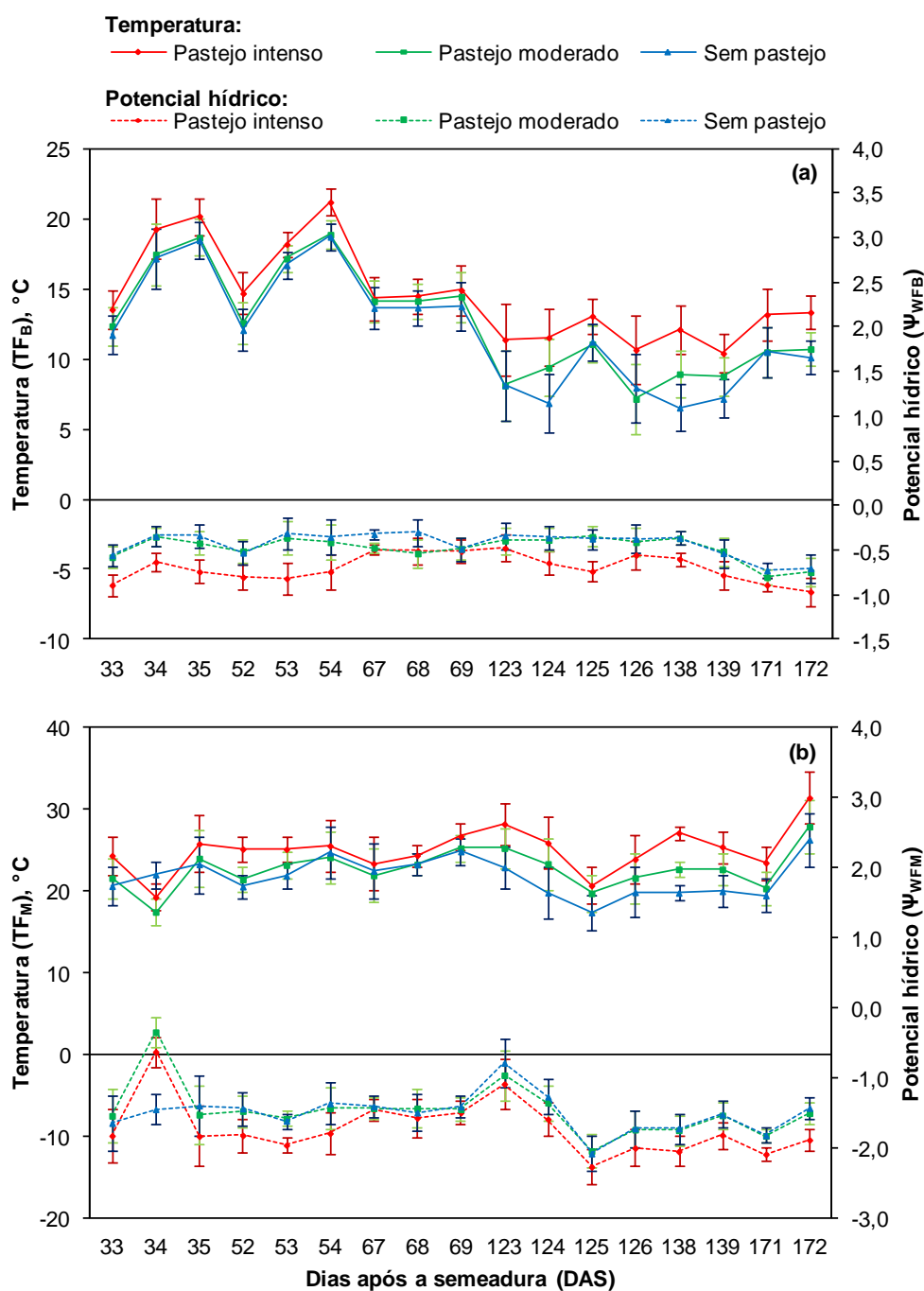


Figura 14. Temperatura e potencial de água na folha da aveia: (a) manhã e (b) tarde, ao longo do ciclo do ciclo de pastejo, em um Latossolo Vermelho distroférrico no sistema integrado soja-bovinos de corte em plantio direto com diferentes intensidades de pastejo. As barras na vertical representam a diferença mínima significativa pela análise de contrastes a 5% de significância. Barras que se cruzam = diferença não significativa.

Como verificado no presente estudo, os impactos negativos do pastejo intenso, resultando em menor armazenamento hídrico no solo, afetam também o estado hídrico da pastagem que, por sua vez, pode influenciar no

balanço energético da planta e no seu rendimento. Deve-se lembrar que a aveia, no protocolo avaliado, foi cultivada juntamente com o azevém, havendo, inevitavelmente, uma competição pela extração hídrica, principalmente ao final do ciclo de pastejo, levando em conta da senescência diferenciada entre as culturas em questão. Ao avaliarem a profundidade de extração hídrica por diferentes gramíneas forrageiras, utilizando isótopos de oxigênio, Durand et al. (2007) destacaram a dinamicidade do Ψ_{wfb} e sua relação com as modificações na umidade do solo. Os valores de Ψ_{wfb} , em torno de -0,5 e -0,8 MPa para os sistemas pastejados e o SP, respectivamente, são, segundo Lafolie et al. (1991), indicativos do Ψ_{solo} na região (camada) onde houve maior extração hídrica, que não necessariamente é na qual há uma maior concentração de raízes.

Todavia, as alterações no curto-prazo na condutância raiz-solo aumentam a dificuldade no entendimento do fluxo hídrico nas plantas, principalmente em sistemas com pastagens mistas (Durand et al., 2010), como do presente estudo. Para avaliar o particionamento existente nesses sistemas, se faz necessário identificar a contribuição da biomassa radicular e o balanço energético da área foliar das espécies em questão (Sinoquet et al., 2000).

O maior volume de chuvas em Julho (67 a 69 DAS) (Figura 14 a) e, conseqüentemente, aumento na Θ_v na presença do pastejo (Figura 16 c), parece ter contribuído para respostas no estado hídrico da aveia. Todavia, a interação existente entre o Ψ_{wf} e o do solo, representado nesta avaliação pela Θ_v , não pode ser olvidada ao discutir o estado hídrico da aveia em SIPA. A dependência das plantas em relação à disponibilidade hídrica no solo (Ψ_{raiz} e Ψ_{solo}), classifica as espécies em dois grupos: as isohídricas e as anisohídricas (Queensland, 2012). Segundo o Departamento de Agropecuária de Queensland (Austrália), o primeiro representa culturas que apresentam Ψ_{wf} estáveis (menos oscilantes), independentemente das condições do solo, apresentando uma fraca relação com as mesmas, ao passo que as anisohídricas apresentam células guardas que não reagem ao sinal hidráulico, sendo mais sensíveis às alterações hídricas no solo e apresentando maior risco de deterioração em períodos de estiagem. Entretanto, em função das condições climáticas, cultivares podem apresentar ambos os comportamentos.

A aveia, no presente estudo, antes da entrada dos animais, parece apresentar um comportamento anisohídrico (Figura 17). Como a resposta estomática influencia na TF (Jones, 2004), o comportamento semelhante entre a TF e o Ψ_{wf} é coerente, assim como observado ao longo do ciclo de cultivo da soja (Figuras 8 e 9). Mesmo havendo um elevado grau de dificuldade na obtenção de valores críticos de parâmetros fisiológicos e das flutuações momentâneas do Ψ_{wf} (Feres & Goldhamer, 1990), a resposta da aveia aos manejos adotados instiga quanto à necessidade de entendimento da magnitude dos valores observados. Ainda, com relação a TF, o cálculo da diferença da mesma em relação à temperatura do ar no momento da avaliação serviria para compreender melhor o estado hídrico da planta no contexto de um sistema aberto. Todavia, os dados de temperatura média do ar levantados (Figura 14 b) são insuficientes em virtude da oscilação desse parâmetro ao longo de um dia.

A partir da entrada dos animais (70 DAS), a relação entre a Θ_v (Figura 16) nos tratamentos e o estado hídrico da aveia foi diferente, pois aumentos na Θ_v nos sistemas pastejados não refletiram em redução no grau de estresse da aveia, seja pelo Ψ_{wf} ou pela TF (Figura 17).

O pastejo intenso, ao longo de todo o período pastejado, resultou em valores mais baixos de Ψ_{wfb} ($P < 0,05$) em relação ao pastejo moderado e o SP, que não diferiram entre si (Figura 17a). O maior estresse hídrico da aveia também foi verificado na TF_b , nos meses de agosto e outubro (123 a 126, 138 a 139 e 171-172 DAS), valores mais altos no pastejo intenso ($P < 0,01$) em relação aos demais tratamentos, que não diferiram entre si. Por outro lado, em setembro o impacto dos manejos adotados na TF_m teve a seguinte ordem de estresse: pastejo intenso > pastejo moderado > SP ($P < 0,05$).

O mesmo comportamento observado no Ψ_{wfb} ao longo do pastejo foi verificado no Ψ_{wfm} (Figura 17 b), com o pastejo intenso apresentando valores mais baixos ($P < 0,05$) em relação aos demais sistemas, que foram semelhantes entre si. Já a TF_m apresentou diferenças entre os tratamentos que não foram detectadas no período matinal. Assim, nos meses de agosto e setembro (123 a 126 e 138 a 139 DAS), a TF_m foi mais alta no pastejo intenso ($P < 0,05$), seguido pelo pastejo moderado, ao passo que o SP apresentou os menores valores. Ao final do ciclo de pastejo, no mês de outubro, o impacto do pastejo moderado e

SP na TF_m foi semelhante, resultando em valores mais baixos ($P < 0,01$) em relação ao pastejo intenso.

As modificações organizacionais do solo como sistema promovidas pelo manejo adequado dos animais, no longo prazo, têm impacto positivos nos fluxos hídricos e, conseqüentemente, na EUA do SIPA (Peden et al., 2007). A semelhança no grau de estresse hídrico da aveia, quando pastejada, entre o SP e o pastejo moderado, é um indicativo do sinergismo que pode ocorrer em SIPA. Assim, o pastejo moderado promove um estresse de grau moderado, que, segundo Linchtenthaler (1996), é denominado de “eu-stress”, sendo ativador, estimulador e positivo ao desenvolvimento das plantas. É interessante observar que, mesmo diante de um estresse físico (mecânico), promovido pelo pisoteio animal, a mediação bioquímica (fisiológica) resulta em uma resposta da aveia na intensidade de pastejo moderada, semelhante à área sem animais. Tal complexidade é ressaltada por Bray (1997) e vai de encontro a como o grau de compactação do solo (Hakansson et al., 1988), pode ser benéfico a um sistema de produção, como verificado por Hamza & Anderson (2005).

Os 11 anos de SIPA aos 23 anos de sistema de semeadura direta no protocolo avaliado, dão subsídio para discussões quanto às alterações promovidas pela reorganização no sistema solo. Desta forma, novos arranjos geométricos (Alaoui et al., 2011) e a maior capacidade de recuperação mediante processos biológicos e físicos (Logsdon & Karlen, 2004) explicam como o pastejo moderado, no longo prazo, contribuiu para menores impactos no estado hídrico da aveia. Tais alterações estruturais dificultam a obtenção de limites hídricos críticos (Tarawally et al., 2004), principalmente em solos muito argilosos, como do presente estudo (Apêndice 3), que apresentam maior grau de resiliência quando manejados em sistemas conservacionistas (Bavoso et al., 2013). Independentemente da Θ_v , o manejo adequado do SIPA, no longo prazo, pode viabilizar a retenção de água em Ψ_{solo} mais elevados, determinando uma maior proliferação radicular (Bengough & Mullins, 1991) e, conseqüentemente, a manutenção do estado hídrico da cultura, como verificado neste estudo.

A menor oscilação de valores de Ψ_{WF} e TF no pastejo moderado em relação ao intenso, independentemente do período avaliado e, ao longo de todo o ciclo de pastejo (abril a outubro), demonstra haver uma percepção da

aveia ao sistema no qual se desenvolveu. Segundo Verhoef & Campbell (2005), indicadores diretos, como o Ψ_{WF} e indiretos, como a TF, resultam da combinação entre a demanda evaporativa e o estado hídrico do solo, sendo críticos para avaliação do “plant stress sensing”. Este fato também ficou comprovado na avaliação do estado hídrico da soja cultivada antes do presente ciclo de pastejo (Figuras 8, 9 e 10).

O comportamento da aveia ao longo do ciclo de pastejo no presente estudo abre espaço para futuras e novas abordagens que busquem relacionar a desempenho das forrageiras (produção de biomassa aérea e radicular) às condições edafoclimáticas prévias (cultivo anterior) ao mesmo tempo que se contemplem parâmetros fisiológicos que representem a taxa fotossintética e alocação de carbono da cultura.

5.4. Conclusões

Em sistema integrado de produção com soja e bovinos de corte em plantio direto de longa duração manejado com pastejo intenso ocorre um menor armazenamento de água no perfil do solo e maior grau de estresse hídrico da aveia ao longo do ciclo de pastejo, tanto antes como após a entrada dos animais nas áreas.

O manejo adequado da pastagem pelo uso de intensidades moderadas permite que, independentemente de diferenças na umidade do solo, a cultura da aveia mantenha potenciais hídricos e temperatura de folha semelhantes à condição sem pastejo, independentemente da presença de animais na área.

7. CAPÍTULO VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O protocolo de longa duração do presente estudo já vem sendo avaliado multidisciplinarmente, o que tem viabilizado avanços no entendimento quanto às relações solo-planta-animal-máquina-atmosfera. Por outro lado, no contexto atual da produção de alimentos, o recurso mais crítico e que demanda maior atenção por parte de toda a cadeia é o hídrico. Assim, a presente abordagem pode ser encarada como uma nova forma de avaliação da qualidade do manejo imposto em um sistema integrado de produção agropecuária com o cultivo de soja no verão e bovinos de corte no inverno.

A resiliência hídrica de um sistema produtivo talvez seja a propriedade mais importante para garantir a produção de alimento para a crescente população mundial tornando a utilização mais eficiente da água armazenada no solo indispensável para que o sistema perdure no longo prazo, mesmo diante intempéries climáticas.

Os resultados obtidos salientam a importância da inclusão de parâmetros fisiológicos da planta quando se tratando de um sistema de produção complexo e de longa duração, e os comportamentos constatados abrem espaço para futuros estudos que foquem, além do solo e do animal, as plantas e a ciclagem e reciclagem hídrica no sistema. Ainda, a ausência de um sistema de rotação de culturas no protocolo em questão deve ser considerada, pois, perante os resultados obtidos ao longo de 13 anos, parece ainda haverem possíveis melhorias no manejo a partir da maior diversificação nos cultivos

A insuficiência do Intervalo Hídrico Ótimo, obtidos a partir de relações matemáticas e valores empíricos pode servir como alerta para futuras linhas de pesquisa que busquem avanços e aprofundamento na compreensão do funcionamento de sistemas integrados de produção. Desta forma, linhas de pesquisa focando a eficiência na utilização da água do solo e nas respostas das plantas e dos animais poderão auxiliar pesquisadores e produtores para melhor explorar o potencial dos sistemas integrados de produção.

A partir dos estudos desta tese, sugere-se novos experimentos utilizando ferramentas de solo e fisiológicas mas, ampliando o leque de informações, de modo que se considere também parâmetros como: taxa fotossintética, a resiliência física e hídrica do solo assim como estudos com calibração para maior acurácia e parametrização quanto as espécies e cultivares utilizadas no protocolo em questão. Melhorias quanto a equipamentos, transporte e infraestrutura, viabilizando o monitoramento de parâmetros de solo, planta, animal, máquina e atmosfera devem ser são indispensáveis para avanços científicos neste protocolo experimental. Por último, e não menos importante, futuras dissertações e teses tese devem buscar o envolvimento de outros departamentos em estudos multi-, inter- e transdisciplinares, principalmente agregando o conhecimento advindo das áreas de agrometeorologia e melhoramento e fisiologia das plantas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDISCOTT, T. M. Entropy and sustainability. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 46, n. 2, p. 161-168, 1995.

ADELOYE, A. A. Global warming impact: flood events, wet-dry conditions and changing scene in world food security. **Journal of Agricultural Research**, Punjab, v. 9, p. 1-15, 2010.

AKINCI, S.; LÖSEL, D. M. Plant water-stress response mechanisms. In: RAHMAN I.M.M. (Ed.), **Water Stress**. Amsterdam, Intech, 2012. p. 15-42.

ALAKUKKU, L. et al. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review Part 1. Machine/soil interactions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, n.1-2, p. 145-160, 2003.

ALAOUI, A.; LIPIEC, J.; GERKE, H.H. A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: a hydrodynamic perspective. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 116, p. 1-15, 2011.

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**, Viçosa, v. 25, p. 717-723, 2001.

ALCAMO, J. et al. Global estimates of water with drawals and availability under current and future "business-as-usual" Conditions. **Hydrological Science Journal**, Paris, v. 48, p. 339-348, 2003.

ALCAMO, J. et al. Global change and global scenarios of water use and availability: Na application of WaterGAP 1.0. Report A9701, **Center for Environmental Systems Research**, Kassel, 1997, 47p.

ALCAMO, J.; HENRICHS, T. Critical regions: A model-based estimation of world water resources sensitive to global changes. **Aquatic Sciences**, Basel, v. 64, p. 352-362, 2002.

ALLAN, J.A. Virtual water: a strategic resource. Global solutions to regional deficits. **Ground Water**, London, v. 36, n. 4, p. 545-546, 1998.

ALLEN, L.H.J. et al. Soybean leaf water potential responses to carbon dioxide and drought. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, p. 375-383, 1998.

AMADO, T.J.C. et al. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 189-197, 2001.

ANDERSON, V. L.; MCLEAN, R.A. **Design of experiments** – a Realistic Approach. New York: Marcel Dekker Inc., 1974. 418 p.

ANDRADE, R.S.; STONE, L.F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 111-116, 2011.

ANGERS, D.A.; CARON, J. Plant-induced changes in soil structure: Processes and feedbacks. **Biogeochemistry**, London, v.42, 55-72, 1998.

ANGHINONI, I.; ASSMANN, J.M. Ciclagem de nutrientes em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e implicações na adubação. **Informações Agronômicas**, Viçosa, n.136, 2011.

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; COSTA, S.E.V.G.A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 8, p. 221-278, 2013.

ANGUS, J.F. et al. Soil water extraction by dryland crops, annual pastures, and lucerne in south-eastern Australia. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 52, n. 2, p. 183-192, 2001.

ANGUS, J.F.; KIRKEGAARD, J.A.; PEOPLES, M.B. Rotation sequence and phase: research on crop and pasture systems. In: AUSTRALIAN AGRONOMY CONFERENCE, 10. Hobart, 2001. **Proceedings of the...** 2001. Disponível em: <http://www.regional.org.au/au/asa/2001>. Acesso em: 14 out. 2012.

ARVIDSSON, J. Influence of soil texture and organic matter content on bulk density, air content, compression index and crop yield in field and laboratory experiments. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 49, n. 1-2, p.159-170, 1998.

ASADA, K. Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 141, p. 391-396, 2006.

ASBJORNSEN, H. et al. Ecohydrological advances and applications in plant-water relations research: a review. **Journal of Plant Ecology**, Amsterdam, v. 4, n. 1-2, p. 3-22, 2011.

ASSMANN, J.M. **Estoque de carbono e nitrogênio no solo e ciclagem de nutrientes em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto de longa duração**. 2013. 151 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

ASSMANN, J.M. et al. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop-livestock system under no-tillage in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. Amsterdam, v. 190, p. 52-59, 2014.

BAARS, J.A.; RADCLIFFE, I.E.; ROLLO, M.D. Climatic change effects on seasonal patterns of pasture production in New Zealand. **Proceedings of the NZ Grassland Association**, Wellington, v. 51, p. 43-46, 1990.

BALDOCCHI, D.D. Canopy-atmosphere water vapour exchange: Can we scale from a leaf to a canopy? In: ESTIMATION of Areal Evapotranspiration. Wallington: IAHS, 1989. p. 21-41. (IAHS Publ. v.177)

BALDOCCHI, D.D.; VERMA, S.B.; RESENBERG, N.J. Environmental effects on carbon dioxide exchange and water use efficiency of soybeans. In: CONFERENCE OF AGRICULTURE AND FOREST METEOROLOGY, 15., 1981, Amsterdam. **Proceedings....** Amsterdam: Inpress, 1981. p.49.

BALDOCCHI, D.D.; VERMA, S.B.; RESENBERG, N.J. Mass and energy exchanges of a soybean canopy under various environmental regimes. **Agronomy Journal**, Madison, v. 73, p. 706-710, 1981.

BALDOCCHI, D.D.; VERMA, S.B.; RESENBERG, N.J. Seasonal and Diurnal Variation in the CO₂ Flux and CO₂-Water Flux Ratio of Alfalfa. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.23, 231-244, 1981.

BALDOCCHI, D.D.; VERMA, S.B.; ROSENBERG, N.J. Water use efficiency in a soybean field: influence of plant water stress. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 34, p. 53-65, 1985.

BAUMHARDT, R.L. et al. Tillage and cattle grazing effects on soil properties and grain yields in a dryland wheat-sorghum-fallow rotation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, p. 914-922, 2011.

BAVOSO, M.A. **Resiliência física de solos sob plantio direto**. 2012. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2012.

BAVOSO, M.A. et al. Resiliência física de dois latossolos vermelhos sob plantio direto, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1892- 1904, 2013.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 235-239, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 599-607, 2000.

BEEM, J.V.; SMITH, M.E.; ZOBEL, R.W. Estimating root mass in maize using a portable capacitance meter. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, p. 566-570, 1998.

BELL, L.W. et al. Impacts of soil damage by grazing livestock on crop productivity. **Soil & Tillage and Research**, Amsterdam, v. 113, p. 19-29, 2011.

BENGOUGH, A.G.; CROSER, C.; PRITCHARD, J. A biophysical analysis of root growth under mechanical stress. **Plant and Soil**, The Hague, v. 189, n. 1, p. 155-164, 1997.

BENGOUGH, A.G. et al. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 1, p. 59-68, 2011.

BENGOUGH, A.G.; MULLINS, C.E. Penetrometer resistance, root penetration resistance and root elongation in 2 sandy loam soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 131, p. 59-66, 1991.

BENNETT, J.M. et al. Dependence of stomatal conductance on leaf water potential, turgor potential, and relative water content in field-grown soybean and maize. **Crop Science**, Madison, v. 27, p. 984-990, 1987.

BERGONCI, J.I. et al. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 8, p. 1531-1540, 2000.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 119-125, 1999.

BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja e relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação de tanque “classe A” e radiação solar global. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 243-259, 1986.

BERLINER, P.; OOSTERHUIS, D.M.; GREEN, G.C. Evaluation of the infrared thermometer as a crop water stress detector. **Agriculture and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 31, p. 219-230, 1984.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 1047-1054, 2000.

BETIOLI JUNIOR, E. et al. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 971-982, 2012.

BEUTLER, A.N. et al. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1223-1232, 2007.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G. Relação entre alguns atributos físicos e a produção de grãos de soja e arroz de sequeiro em latossolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 361-371, 2004.

BEUTLER, A.N. et al. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 639-645, 2006.

BEUTLER, A.N. et al. Densidade do solo relativa e parâmetro "S" como indicadores da qualidade física do solo para culturas anuais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 8, p. 27-36, 2008.

BEYSCHLAG, W.; PFANZ, H.; RYEL, R.J. Stomatal patchiness in Mediterranean evergreen sclerophylls: phenomenology and consequences for the interpretation of the midday depression in photosynthesis and transpiration. **Planta**, Berlin, v.187, p.546-553, 1992.

BHATTACHARYYA, R. et al. Effect of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic conductivity in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 129-140, 2006.

BIRADAR, C.M. et al. A global map of rainfed cropland areas (GMRCA) at the end of last millennium using remote sensing. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, London, v. 11, n. 2, p. 114-129, 2009.

BIRCHAM, J.S. **Herbage growth and utilization under continuous stocking management**. 1981.Thesis (Ph.D), University of Edinburgh, Edinburgh, 1981.

BLAINSKI, E. et al. Intervalo hídrico ótimo num Nitossolo Vermelho distroférico irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 273-281, 2009.

BODDEY, R.M. et al. Carbon accumulation at depth in Ferrasols under zero-till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, Illinois, v. 16, p. 784-795, 2010.

BOLAÑOS, J.; EDMEADES, G.O. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 48, p. 65-80, 1996.

BORLAUG, N. Feeding a hungry world. **Science**, New York, v. 318, p. 359, 2007.

BOTTA, G. F. et al. Mechanical and cropping behavior of direct drilled soil under different traffic intensities: effect on soybean (*Glycine Max* L.) yields. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 78, n. 1, p. 53-58, 2004.

BOUWMAN, L.A.; ARTS, W.B.M. Effects of soil compaction on the relationships between nematodes, grass production and soil physical properties. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 14, p. 213-222, 2000.

BOYER, J.S. Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potentials in corn and soybean. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 46, p. 236-239, 1970a.

BOYER, J.S. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 46, p. 233-235, 1970b.

BOYER, J.S. Leaf water potentials measured with a pressure chamber. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 42, p.133-137, 1967.

BOYER, J.S. Relationship of water potential to growth of leaves. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 43, p. 1056-1062, 1968.

BOYER, J.S. Resistances to water transport in soybean, bean, and sunflower. **Crop Science**, Madison, v. 11, p. 403-407, 1971.

BOYER, J.S., Plant productivity and environment. **Science**, New York, v. 218, p. 443-338, 1982.

BOYER, J.S.; GHORASHY, S.R. Rapid field measurement of leaf water potential in soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 63, p. 344-345, 1971.

BOYLE, M.G.; BOYER, J.S.; MORGAN, P.W. Stem infusion of liquid culture medium prevents reproductive failure of maize at low water potential. **Crop Science**, Madison, v. 31, p. 1246-1252, 1991.

BRAIDA, J.A. **Matéria orgânica e resíduos vegetais na superfície do solo e suas relações com o comportamento mecânico do solo sob plantio direto**. 107 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

BRAIDA, J.A. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 605-614, 2006.

BRANDT, A.A. **Propriedades mecânicas de solo franco arenoso sob distintos sistemas de preparo, tráfego mecanizado e resíduos vegetais**. 2005. 54 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

BRAY, E.A. Plant responses to water deficit. **Trends in Plant Science**, Amsterdam, v. 2, n. 2, p. 48-54, 1997.

BUNCE, J.A. Differential sensitivity to humidity of daily photosynthesis in the field in C₃ and C₄ species. **Oecologia**, Berlim, v. 57, p. 262-265, 1983.

BUNCE, J.A. Effects of water vapour pressure difference on leaf gas exchange in potato and sorghum at ambient and elevated carbon dioxide under field conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 82, p. 37-47, 2003.

BUNCE, J.A. How do leaf hydraulic limit stomatal conductance at high water vapour pressure deficits. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 29, p. 1644-1650, 2006.

BUNCE, J.A., Comparative responses of leaf conductance to humidity in single attached leaves. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 32, p. 629–634, 1981.

BURGESS, S.S.O. et al. The redistribution of soil water by tree root systems. **Oecologia**, Berlim, v. 115, p. 306-311, 1998.

BUSSCHER, W.J. Adjustment of lat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 3, p. 519-524, 1990.

CALDWELL, M.M.; DAWSON, T.E.; RICHARDS, J.H. Hydraulic lift: consequences of water efflux from the roots of plants. **Oecologia**, Berlim, v. 113, p. 151-161, 1998.

CARDUCCI, C.E. et al. Modelagem da curva de retenção de água de latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 77-86, 2011.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 183-188, 1995.

CARLSON, R.E.; YARGER, D.N.; SHAW, R.H. Environmental influences on the leaf temperatures of two soybean varieties grown under controlled irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 64, p. 224-229, 1972.

CARMO, R.L. et al. Água virtual, escassez e gestão: O Brasil como grande “exportador” de água. **Revista Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 83-96, 2007.

CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; TOPP, G.C. Characterizing equilibrium physical condition near the surface of a fine sandy loam under conservation tillage in a humid climate. **Soil Science**, Baltimore, v. 164, p. 101-110, 1999.

CARVALHO, P.C.F. et al. **Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil**. Porto Alegre, 2011. 60 p. (Boletim Técnico).

CARVALHO, P.C.F. et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling and Agroecosystems**, Amsterdam, v. 88, p. 259-273, 2010.

CASENAVE, A.; VALENTIN, C. A runoff capability classification system based on surface features criteria in the arid and semi-arid areas of West Africa. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 130, p. 213-249. 1992.

CASSOL, L.C. **Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 157 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CAVALIERI, K.M.V. et al. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 137-147, 2006.

CEMETRS – CONSELHO ESTADUAL DE METEOROLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL. **Atlas Climático do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<http://www.r3pb.com.br/AtlasCemetRS>>. Acesso em: 27 mai. 2013.

CENTRITTO, M. et al. Profiles of isoprene emission and photosynthetic parameters in hybrid poplars exposed to free-air CO₂ enrichment. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 27, p. 403-412, 2004.

CHAMEN, T. et al. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: A review. Part 2. Equipment and field practices. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 71, p. 1-14, 2003.

CHAN, K.Y.; HEENAN, D.P. The influence of crop rotation on soil structure and soil physical properties under conventional tillage. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 37, n. 2-3, p.113-125, 1996.

CHAPIN, F.S. Integrated responses of plants to stress. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 41, n. 1, p. 29-36, 1991.

CHAPMAN, N. et al. Roots, water, and nutrient acquisition: let's get physical. **Trends in Plant Science**, Amsterdam, v. 17, p. 701-710, 2012.

CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: Prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 8, p. 1-20, 2004.

CHAVES, M.M. Effects of water deficit on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, p. 1-16, 1991.

CLARK, L.J.; WHALLEY, W.R.; BARRACLOUGH, P.B. How do roots penetrate strong soil?. **Plant and Soil**, The Hague, v. 255, p. 93-104, 2003.

CLARKSON, D.T. et al. Root hydraulic conductance: diurnal aquaporin expression and the effects of nutrient stress. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, p. 61-70, 2000.

COLLARES, G.L. et al. Compactação de um latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 933-942, 2008.

COLLARES, G.L. et al. Compactação superficial de latossolos sob integração lavoura-pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, p. 246-250, 2011.

COLLARES, G.L. et al. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 1663-1674, 2006.

COMSTOCK, J.; EHLERINGER, J. Stomatal response to humidity in common bean (*Phaseolus vulgaris*): Implications for maximum transpiration rate, water-use efficiency and productivity. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 20, p. 669-691, 1993.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira – Grãos – Safra 2012/2013 – Décimo Segundo Levantamento – Setembro / 2012**. Disponível em: <
[http://www.conab.gov.br/](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_06_09_18_33_boletim_graos_-_setembro_2012.pdf)

[OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_06_09_18_33_boletim_graos_-_setembro_2012.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_06_09_18_33_boletim_graos_-_setembro_2012.pdf)>. Acesso em: 4 jun. 2013.

CONTE, O. **Mobilização, atributos de solo e variabilidade espacial em integração lavoura-pecuária**. 2011. 136 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CONTE, O. et al. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 1301-1309, 2011a.

CONTE, O. et al. Soil disturbance index as an indicator of seed drill efficiency in no-tillage agrosystems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 114, p. 37-42, 2011b.

CONTE, O. et al. Relação entre resistência mecânica do solo à penetração e força de tração demandada por hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras, em sistema de integração lavoura-pecuária. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, p. 730-739, 2008.

CORAZZA, E.J. et al. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 425-432, 1999.

CORNIC, G, MASSACCI, A. Leaf photosynthesis under drought stress. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, p. 887-894, 1996.

COWAN, I.R.; G.D. FARQUHAR. Stomata1 function in relation to leaf metabolism and environment. In: JENNINGS, D.H. (Ed.). **Integration of Activity in the Higher Plants**. Cambridge: Cambridge University Press, 1977. p. 471-505.

CQFS-RS/SC – COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS-NRS/EMBRAPA-CNPT, 2004. 400 p.

CUNHA, G.R. et al. Depois da Rio+20: Qual o futuro da “agricultura sustentável”? **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 130, p. 10-17, 2012.

CURE, J.D.; ACOCK, B. Crop responses to carbon dioxide doubling: a literature survey. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 38, p. 127-145, 1986.

CZARNES, S.; DEXTER, A.R.; BARTOLI, F. Wetting and drying cycles in the maize rhizosphere under controlled conditions. Mechanics of the root-adhering soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 221, p. 253-271, 2000.

DALMAGO, G.A. **Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional**. 2004. 230 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

DAO, T.H. Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a paleustoll. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, n. 2, p. 141-148, 1996.

DAVIES, W.J. Responses of plant growth and functioning to changes in water supply in a changing climate. In: MORISON, J.I.L.; MORECROFT, M. (Eds.). **Plant Growth and Climate Change**. Oxford: Blackwell, 2006. p. 96–117.

DAVIES, W.J.; GOWING, D.J.G. Plant responses to small perturbations in soil water status. In: SCHOLLES, M.C.; BARKER, J.D. (Eds.). **Physiological Plant Ecology**. Oxford: Blackwell, 1999. p. 67-90.

DAVIES, W.J.; WILKINSON, S.; LOVEYS, B. R. Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. **New Phytology**, Amsterdam, v. 153, p. 449–460, 2002.

DE MORAES, A. et al. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 57, p. 4-9, 2013.

DEBIASI, H. et al. Capacidade de suporte e compressibilidade de um argissolo, influenciadas pelo tráfego e por plantas de cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2629-2637, 2008.

DESCHEEMAEKER, K; AMEDE, T; HAILESLASSIE, A. Improving water productivity in mixed crop-livestock farming systems of sub-Saharan Africa. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, p. 579-586, 2010.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, n. 3-4, p. 199-238, 1988.

DEXTER, A.R. Amelioration of soil by natural processes. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 20, n. 1, p. 87-100, 1991.

DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 1, p.175-182, 1996.

DOGAN, E.; KIRNAK, H.; COPUR, O. Deficit irrigations during soybean reproductive stages and CROPGRO-soybean simulations under semi-arid climatic conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 103, p. 154-159, 2007.

DÖLL, P. Wasser weltweit – Wie groß sind die globalen Süßwasserressourcen, und wie nutzt sie der Mensch? **Forschung Frankfurt**, Frankfurt, v. 3, p. 54-59, 2008.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W. et al. (Eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. **Soil Science Society American**, Madison, Special Publication 35, p. 3-21. 1994.

DÖRNER, J.; HORN, R. Direction dependent behavior of hydraulic and mechanical properties in structured soils under conventional and conservation tillage, **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, p. 225-232, 2009.

DUMVILLE, J.C.; FRY, S.C. Solubilisation of tomato fruit pectins by ascorbate: a possible non-enzymic mechanism of fruit softening. **Planta**, Amsterdam, v. 217, p. 951-961, 2003.

DURAND, J.L. et al. Ranking of the depth of water extraction by individual grass plants, using natural ^{18}O isotope abundance. **Environmental and Experimental Botany**, London, v. 60, p. 137-144, 2007.

DURAND, J.L. et al. Ranking of the depth of water extraction by individual grass plants, using natural ^{19}O isotope abundance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, p. 147-144, 2007.

DURAND, J.L. et al. Investigation the competition for water and the depth of water extraction in multispecies grasslands using ^{18}O natural abundance. In: SUSTAINABLE Use of Genetic Diversity in Forage and Turf Breeding. [Oxford]: Springer, 2010. p.205-209

EHDAIE, B.; LAYNE, A.P.; WAINES, J.G. Root system plasticity to drought influences grain yield in bread wheat. **Euphytica**, London, v. 186, p. 219-232, 2012.

EHRLER, W.L. Cotton leaf temperatures as related to soil water depletion and meteorological factors. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, p. 404-409, 1973.

ELFVING, D.C.; KAUFMAN, M.R.; HALL, A.E. Interpreting leaf water potential measurements with a model of the soil-plant-atmosphere continuum. **Physiologia Plantarum**, Rome, v. 27, p. 161-168, 1972.

ELLIS, E.C.; RAMANKUTTY, N. Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world. **Frontiers in Ecology and the Environment**, London, v. 6, p. 439–447, 2008.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos e análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.

EVETT, S.R.; PRUEGER, J.H.; TOLK, J.A. Water and energy balances in the soil-plant-atmosphere continuum. In: HUANG, P.M.; LI, Y. (Ed.). **Handbook of Soil Sciences: properties and proceses**, Boca Raton: CRC Press, 2011. p. 6-44.

ESS, D.R.; VAUGHAN, D.H.; PERUMPRAL, J.V. Crop residue and root effects on soil compaction. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 45, n. 5, p.1271-1275, 1998.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **925 million in chronic hunger worldwide**: though improved, global hunger level “unacceptable”. Roma, 14 de setembro de 2010. Disponível em: <<http://www.fao.org/news/story/en/item/45210/icode/>>. Acesso em: 30 out. 2011.

FARQUHAR, G.D.; SHARKEY, T.D. Stomatal conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, Boca Raton, v. 33, p. 317-345, 1982.

FARRAR, J.F.; WILLIAMS, M.L. The effects of increased atmospheric carbon dioxide and temperature on carbon partitioning, source-sink relations and respiration. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 14, p. 819-830, 1991.

FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. **Química de solos**: Com ênfase em solos de América Latina. 2.ed. San José: IICA, 1994. 420 p.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 1977. 12 p.

FERERES, E.; GOLDHAMER, D.A. Deciduous fruit and nut trees. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1990. p. 987-1017.

FERGUSON, B.J. et al. Molecular analysis of legume nodule development and autoregulation. **Journal of Integrative Plant Biology**, London, v. 52, p. 61-76, 2010.

FERNÁNDEZ, R.O. et al. Soil properties and crop yields after 21 years of direct drilling trials in southern Spain. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p. 47-54, 2007.

FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 507-513, 1999.

FERREIRA, D.F.; FILHO, A.C.; LÚCIO, A.D. Procedimentos estatísticos em planejamentos experimentais com restrição na casualização. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 16-19, 2012.

FLETCHER, A.L.; SINCLAIR, T.R.; ALLEN JR., L.H. Transpiration responses to vapor pressure deficit in well watered “slow-wilting” and commercial soybean. **Environmental and Experimental Botany**, London, v. 61, p. 145-151, 2007.

FLETCHER, A.L.; SINCLAIR, T.R.; ALLEN JR., L.H. Vapor pressure deficit effects on leaf area expansion and transpiration of soybean subjected to soil drying. **Soil and crop sciences society of Florida (Proceedings)**, Boca Raton, v. 67, p. 15-20, 2008.

FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C₃ plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, p. 183-189, 2002.

FLORES, J.P.C. et al. Atributos químicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto com aplicação superficial de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2385-2396, 2008.

FLOSS, E.L. Cobertura do solo bem feita é o diferencial. **A Granja**, Porto Alegre, v. 768, p. 70-72, 2012.

FLOWERS, T.J.; HANSON, J.B. The effect of reduced water potential on soybean mitochondria. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 44, n. 7, p. 939-945, 1969.

FOCHEZATTO, A.; GRANDO, M.Z. **Efeitos da estiagem na economia do Rio Grande do Sul: uma abordagem multissetorial**. Porto Alegre: FEE, 2009. (Textos para Discussão FEE, n. 62)

FOLEY, J.A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, Paris, v. 478, p. 337-342, 2011.

FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C.; LIMA, S.L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 947-953, 2003.

FORSYTHE, W.M. **Las propiedades físicas, los factores físicos de crecimiento y la productividad del suelo**. Fitotecnia. Latinoamericana, San Jose, v. 4, p. 165-176, 1975.

FRANCHINI, J.C.; COSTA, J.M.; DEBIASI, H. Rotação de culturas: prática que confere maior sustentabilidade à produção agrícola no Paraná. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 134, 13p, 2011.

FRANCHINI, J.C. et al. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 39 p. (Embrapa Soja. Documentos, 314).

FRANKS, P.J.; FARQUHAR, G.D. A relationship between humidity response, growth form and photosynthetic operating point in C3 plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 22, p. 1337-1349, 1999.

FRANZLUEBBERS, A.J. Integrated crop-livestock systems in the Southern USA. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, p. 362-372, 2007.

FRANZLUEBBERS, A.J. Linking soil and water quality in conservation agricultural systems. **Electronic Journal of Integrative Biosciences**, [Arkansas], v. 6, n. 1, p. 15-29, 2008.

FRANZLUEBBERS, A.J.; HONS, F.M.; ZUBERER, D.A. Tillage and crop effects on seasonal dynamics of soil CO₂ evolution, water content, temperature, and bulk density. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 2, p. 95-109, 1995.

FRANZLUEBBERS, A.J.; STUEDEMANN, J.A. Crop and cattle responses to tillage systems for integrated crop-livestock production in the Southern Piedmont, USA. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Madison, v. 22, p. 168-180, 2007.

FRANZLUEBBERS, A.J.; STUEDEMANN, J.A. Soil physical responses to cattle grazing cover crops under conventional and no tillage in the Southern Piedmont USA. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 100, p. 141-153, 2008.

FRANZLUEBBERS, A.; STUEDEMANN, J.A.; FRANKLIN, D.H. Water infiltration and surface-soil structural properties as influenced by animal traffic in the Southern Piedmont USA. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Madison, v. 27, p. 256-265, 2011.

FREDDI, O.S. et al. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 627-636, 2007.

GARDNER, J.C.; FAULKNER, D.B. **Use of cover crops with integrated crop-livestock production systems**. Disponível em: <www.usda.com> Acesso em: 12 dez. 2011.

GARDNER, W.R.; EHLING, C.F. The influence of soil water on transpiration by plants. **Journal of Geophysical Research**, Dublin, v. 68, p. 5719-5724, 1963.

GARRIGUES, E.; DOUSSAN, C.; PIERRET, A. Water uptake by plant roots: I – Formation and propagation of a water extraction front in mature root, systems as evidenced by 2D light transmission imaging. **Plant and Soil**, The Hague, v. 283, p. 83-98, 2006.

GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 477-484, 2004.

GERMANN, P.F.; DI PIETRO, L. When is porous media flow preferential? A hydromechanical perspective. **Geoderma**, Amsterdam, v. 74, p. 1-21, 1996.

GHANNOUM, O. C₄ photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, p. 635-644, 2009.

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

GIJSMAN, A.J.; THOMAS, R.J. Aggregate size distribution and stability of an oxisol under legume-based and pure grass pastures in the eastern Columbian savannas. **Australian Journal of Soil Research**, Lismore, v. 33, p. 153-165, 1995.

GILLINGHAM, A. G. 1973: Influence of physical factors on pasture growth on hill country. **Proceedings of the New Zealand Grassland Association**, Wellington, v.35, 77-85, 1973.

GLINSKI, J.; DOMZAL, H.; LIPIEC, J. Soil compaction as a factor determining plant productivity. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, p. 950-98, 1991.

GOLDMAN, I.L.; CARTER, T.E.J.; PATTERSON, R.P. A detrimental interaction of subsoil aluminum and drought stress on the leaf water status of soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, p. 461-463, 1989.

GONZÁLEZ-DUGO, M.P. et al. Canopy temperature variability as an indicator of crop water stress severity. **Irrigation Science**, Amsterdam, p.122-150, 2005.

GONZALEZ-DUGO, V.; DURAND, J.L.; GASTAL, F. Water deficit and nitrogen nutrition of crops: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Madison, v. 30, p. 529-544, 2010.

GORDON, L.J.; PETERSON, G.D.; BENNETT, E.M. Agricultural modifications of hydrological flows create ecological surprises. **Trends in ecology and evolution**, London, v. 914, p. 1-9, 2007.

GORDON, L.J. et al. Human modification of global water vapor flows from the land surface. **Environmental Sciences**, New York, v. 102, p. 7612-7617, 2005.

GREENWOOD, K.L.; MCKENZIE, B.M. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v. 41, p. 1231-1250, 2001.

GREGORY, P.J. Agronomic approaches to increasing water use efficiency. In: BACON, M.A.(Ed.). **Water use efficiency in plant biology**. Oxford: Blackwell publishing, 2000. p. 142-170

GREGORY, P.J. Roots, rhizosphere and soil: the route to a better understanding of soil science? **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 57, p. 2-12, 2006.

GREGORY, P.J. Soil and plant factors affecting the estimation of water extraction by crops. **Soil Water Balance in the Sudano-Sahelian Zone**, n.99, p.261-273, 1991.

GREGORY, P.J. Water-use efficiency of crops in the semi-arid tropics. In: SOIL, crop, and water management systems for rainfed agriculture in the Sudano-

Sahelian zone. Patancheru: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 1989. p. 85–98. (Proceedings of an international workshop, 7–11 January 1987, ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger).

GREGORY, P.J.; GEORGE, T.S. Feeding nine billion: The challenge to sustainable crop production. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, p. 5233-5239, 2011.

GREGORY, P.J.; NORTCLIFF, S. The new challenge- sustainable production in a changing environment. In: GREGORY, P.J.; NORTCLIFF, S. (Ed.). **Soil conditions and plant growth**. Chichester: John Wiley & Sons, 2013. p. 417-448

GREGORY, P.J.; SIMMONDS, L.P.; PILBEAM, C.J. Soil type, climatic regime, and the response of water use efficiency to crop management. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 814-820, 2000.

GRIFFITHS, H.; PARRY, M.A.J. Plant responses to water stress. **Annals of Botany**, Oxford, v.89, p.801-802, 2002.

GROENVELT, P.H.; GRANT, C.D.; SEMETSA, S. A new procedure to determine soil water availability. **Australian Journal of Soil Research**, Lismore, v. 39, p. 577-598, 2001.

GUBIANI, P.I. **Regularidade de resposta da cultura do milho à compactação do solo**. 2012. 154 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

GUBIANI, P.I.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Indicadores hidrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1-10, 2013.

GUBIANI, P.I.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo – exatidão, precisão e tempo e processamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 664-668, 2006.

GUREVITCH, J.; SCHEINER, S.M; FOX, G.A. **Ecologia Vegetal**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 592 p.

GUTSCHICK, V.P.; BASSIRAD, H. Extreme events as shaping physiology, ecology, and evolution of plants: toward a unified definition and evaluation of their consequences. **New Phytologist**, Amsterdam, v. 160, p. 21-42, 2003.

HAFNER, H. et al. Effect of crop residues on root growth and phosphorus acquisition of pearl millet in an acid sandy soil in Niger. **Plant and Soil**, The Hague, v. 150, p. 117-127, 1993.

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

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B.; RILEY, H. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, n. 3-4, p. 239-282, 1988.

HALLETT, P.D.; GORDON, D.C.; BENGOUGH, A.G. Plant influence on rhizosphere hydraulic properties: direct measurements using a miniaturized infiltrometer. **New Phytologist**, Amsterdam, v. 157, p. 597-603, 2003.

HAMDY, A.; TRISORIO-LIUZZI, G. How to Achieve The Required Food Production To Meet The Growing Demand? **NEW MEDIT**, Bari, v. 8, p. 4-12, 2009.

HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 82, n. 2, p. 121-145, 2008.

HANSEN, J.W. Is agricultural sustainability a useful concept? **Agricultural System**, London, v. 50, p. 117-144, 1996.

HARGROVE, W.L. Winter legumes as a nitrogen source for no-till grain sorghum. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, n. 1, p. 70-74, 1986.

HARLEY, P.C.; WEBER, J.A.; GATES, D.M. Interactive effects of light, leaf temperature, CO₂ and O₂ on photosynthesis in soybean. **Planta**, Berlin, v. 165, p. 249-263, 1985.

HARPER, C.W. et al. Increased rainfall variability and reduced rainfall amount decreases soil CO₂ flux in a grassland ecosystem, **Global Change Biology**, Illinois, v. 11, p. 322-334, 2005.

HARPER, K.A. et al. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. **Conservation Biology**, London, v. 19, n. 3, p. 768-782, 2005.

HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; FUJITA, M. Extreme Temperatures, Oxidative Stress and Antioxidant Defense in Plants. In: VAHDATI, K.; LESLIE, C. (Ed.). **Abiotic Stress-Plant Responses and Applications in Agriculture**. Rijeka, Croatia: InTech, 2013. p. 169-205

HATFIELD, P.L.; PINTER, P.J. Remote sensing for crop protection. **Crop protection**. Madison, v.12, p. 403-413, 1993.

HENDRICKSON, J. R. et al. Principles of integrated agricultural systems: Introduction to processes and definition. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Amsterdam, v. 23, n. 4, p. 265-271, 2008.

HILLEL, D. **Introduction to environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 2004, 494p.

HODGE, A. Root decisions. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 32, p. 628-640, 2009.

HORN, R.; LIPIEC, J.; WÓJCIGA, A. Hydraulic properties of soil aggregates as influenced by compaction. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, p. 170-177, 2009.

HOUAISS. **Dicionário da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Editora objetiva, 2012. 2048 p

IDSO, S.B. et al. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 24, p. 45-55, 1981.

IDSO, S.B.; REGINATO, R.J. Soil and atmosphere – induced plant water stress in cotton as inferred from foliage temperatures. **Water Resources Research**, London, v. 18, n. 4, p. 1143-1148, 1982.

IMHOFF, S. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos**. 2002. 94 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

IMHOFF, S. et al. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 11-18, 2001.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, 2000.

INDA JUNIOR, A.V. et al. Variáveis relacionadas à estabilidade de complexos organo-minerais em solos tropicais e subtropicais brasileiros. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 5, p. 1301-1307, 2007.

ITIER, B. et al. Relations between relative evapotranspiration and predawn leaf water potential in soybean grown in several locations. **Irrigation Science**, Amsterdam, v. 13, p. 109-114, 1992.

JACKSON, R.D. et al. Canopy temperature as a crop water stress indicator. **Water Resources Research**, London, v. 17, n. 4, p. 1133-1138, 1981.

JARECKI, M.K.; LAL, R.; JAMES, R. Crop management effects on soil carbon sequestration on selected farmers' fields in ortheastern Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, n. 2, p. 265-276, 2005.

JARVIS, P.G. The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. **Philosophy Transactions Royal Society of London Britania**, London, v. 273, p. 593-610, 1976.

JARVIS, P.G.; MCNAUGHTON, K.G. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. **Advances in Ecological Research**, Madison, v. 15, p. 1-38, 1986.

JONES, H. G., Crop characteristics and the ratio between assimilation and transpiration, **Journal of Applied Ecology**, London, v. 13, p. 605-622, 1976.

JONES, H.G. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 2427-2436, 2004.

JONES, H.G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. 3.ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 428p.

JONES, H.G. What is water use efficiency? In: WATER use efficiency in plant biology. London: Blackwell Publishing, 2004.

JORAJURÍA, D.; DRAGHI, L. The distribution of soil compaction with depth and the response of a perennial forage crop. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v. 66, n. 4, p 261-265, 1997.

JUNG, P.K.; SCOTT, H.D. Leaf water potential, stomatal resistance, and temperature relations in field-grown soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 986-990, 1980.

KAISER, D.R. et al. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 845-855, 2009.

KANG, S. et al. Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root-divided maize plants. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 38, p. 69-76, 1998.

KAY, B.D.; SILVA, A.P.; BALDOCK, J.A. Sensivity of soil structure to changes in organic carbon content: Predictions using pedotransfer functions. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 77, p. 655-667, 1997.

KERTZMAN, F.F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um latossolo roxo provocadas pela compactação do solo**. 1996. 190 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

KIRKHAM, M.B. **Principles of soil and plant water relations**. London: Elsevier Academic Press, 2005. 500 p.

KLEIN, V. A. Densidade relativa – um indicador de qualidade física do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2002, Cuiabá. **Resumos expandidos**. Cuiabá: SBCS, 2006. 1 CD-ROM.

KLEIN, V.A. et al. Retenção de água em restos culturais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 21, n. 3, p. 256-261, 2001.

KLEIN, V.A. et al. 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, 2010.

KLEIN, V.A.; CAMARA, R.K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 221-227, 2007.

KLEIN, V.A.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Água disponível em um latossolo vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 646-650, 2006.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C.A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. I. Physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 635-662.

KOBZA, J.; EDWARDS, G.E. Influences of leaf temperature on photosynthetic carbon metabolism in wheat. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 83, p. 69-74, 1987.

KOEPPF, H.H. The principles and practice of biodynamic agriculture. In: STONEHOUSE, B. (Ed). **Biological Husbandry**. a scientific approach to organic farming. London: Butterworths, 1981. p.237-250

KOTTEK, M. et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, Frankfurt, v. 15, p. 259-263, 2006.

KRAMER, P.J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, 1983. 489 p.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. London: Academic Press, 1995. 495 p.

KRÜMMELBEIN, J. et al. Influence of various grazing intensities on soil stability, soil structure and water balance of grassland soils in inner Mongolia, PR China. **Advances in Geocology**, Verlag, v. 38, p. 93-101, 2006.

KUDOYAROVA, G.R.; KHOLODOVA, V.P.; VESELOV, D.S. Current state of the problem of water relations in plants under water deficit. **Russian Journal of Plant Physiology**, Moscow, v. 60, n.2, p. 165-175, 2013.

KUNRATH, T.R. **Impactos da altura de manejo do pasto em sistemas de integração lavoura-pecuária**. 2011. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

LAFOLIE, F.; BRUCKLER, I.; TARDIEU, F. Modeling root water potential and soil-root water transport. I. Model presentation. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 55, p. 1203-1212, 1991

LAL, R. Soils and food sufficiency. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, London, v.29, p.113-133, 2009.

LAL, R. Thematic evolution of ISTRO: transition in scientific issues and research focus from 1955 to 2000. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, p. 3-12, 2001.

LANDERS, J.N. How and why the Brazilian zero tillage explosion occurred. In: STOTT, D.E.; MOHTAR, R.H.; STEINHARDT, G.C. (Eds). **Sustaining the global farm** – Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting, May 24-29, 1999, West Lafayette, IN. International Soil Conservation Organization in cooperation with the USDA and Purdue University, West Lafayette, IN. West Lafayette, IN : USDA-ARS, 2001. p. 29-39.

LANGE, O.L. et al. Responses of stomata to changes in humidity. **Planta**, Amsterdam, v. 100, p. 76-86, 1971.

LAPEN, D.R. et al. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, eastern Ontario, Canada. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 78, p. 151-170, 2004.

LARCHER, W. Stress bei Pflanzen. **Naturwissenschaften**, Berlim, v. 74, p. 158-167, 1987.

LAWLOR, D.W. Effects of water deficit on photosynthesis. In: SMIRNOFF, N. (Ed.) **Environment and plant metabolism: flexibility and acclimation**. Oxford: Bios Scientific Publishers, 129–160, 1995.

LAWLOR, D.W. Limitations to photosynthesis in water-stressed leaves: stomatal vs. metabolism and the role of ATP. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, p. 871-885, 2002.

LAWLOR, D.W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, p. 275-294, 2002.

LEÃO, T.P. **Intervalo hídrico ótimo em diferentes sistemas de pastejo e manejo da pastagem**. 2002. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

LEÃO, T.P. et al. An algorithm for calculating the least limiting water range of soils. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p. 1210-1215, 2005.

LEÃO, T.P. et al. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 415-423, 2004.

LEÃO, T.P. et al. Least limiting water range: a potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 88, p. 279-285, 2006.

LEE, J.E. et al. Root functioning modifies seasonal climate. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Boston, v. 102, n. 49, p. 17576-17581, 2005.

LEMAIRE, G. et al. Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: a review. **Grass and Forage Science**, Malden, v. 64, n. 4, p. 341-353, 2009.

LEONEL, C.L. et al. Relação da compactação do solo com a cultura do amendoim. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, p. 70-81, 2007.

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

LEVIN, A.; SHAVIV, A.; INDELMAN, P. Influence of root resistivity on plant water uptake mechanism, part II: analytical solutions for low/moderate soil-root conductivity ratio. **Transport Porous Media**, Dordrecht, v. 70, p. 81-95, 2007.

LICHTENTHALER, H.K. Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 148, p. 4-14, 1996.

LIGHTHILL, M.J.; WHITHAM, G.B. On kinematic waves I. Flood movement in long rivers. **Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and physical sciences**, London, v. 299, p. 281-316, 1955.

LIPIEC, J.; HAKANSSON, I. Influences of degree of compactness and matric water tension on some important plant growth factors. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, p. 87-94, 2000.

LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compaction effect on soil physical properties and crop growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 116, p. 107-136, 2003.

LIPIEC, J. et al. Effects of soil compaction on root elongation and anatomy of different cereal plant species. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 121, p. 74-81, 2012.

LIPS, S.H. The role of inorganic nitrogen ions in plant adaptation processes. **Russian Journal of Plant Physiology**, Moscow, v. 44, p. 421-431, 1997.

LOBELL, D.B. et al. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. **Science**, New York, v. 319, n. 5863, p. 607-610, 2008.

LOGSDON, S.D.; KARLEN, D.L. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 78, p. 143-149, 2004.

LONG, S.P. Environmental responses. In: SAGE, R.F.; MONSON, R.K. (Eds.) **C4 plant biology**. San Diego: Academic Press, 1999. p. 215–249

MANAVALAN, L.P. et al. Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. **Plant and Cell Physiology**, Tokio, v. 50, p. 1260-1276, 2009.

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. 23, p. 349-354, 2011.

MARKGRAF, W.; HORN, R.; PETH, S. An approach to rheometry in soil mechanics—Structural changes in bentonite, clayey and silty soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, p. 1-14, 2006.

MARKGRAF, W. et al. Influence of organic matter on rheological properties of soil. **Applied Clay Science**, Madison, p. 1-9, 2011.

MARTINEZ, L.J.; ZINCK, J.A. Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 75, p. 3-17, 2004.

MARTINS, A.P. **Acidez do solo e reaplicação de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto**. 2013. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MARTINS, A.P. et al. Amelioration of soil acidity and soybean yield after surface lime reapplication to a long-term no-till integrated crop-livestock system under varying grazing intensities. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 144, p. 141-149, 2014.

MARTORANO, L.G. **Padrões de resposta da soja a condições hídricas do sistema solo-planta-atmosfera, observados no campo e simulados no sistema de suporte à decisão DSSAT**. 2007. 151 f. Tese (Doutorado) -

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MATZENAUER, R.; BARNI, N.A.; TAVARES, J.R.M. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura da soja no estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1013-1019, 2003.

McGREGOR, K.C. et al. **Long-term no-till and conventional-till soybean yields (1983–1999)**. Mississippi State, USA: MAFES, 2006. p.14 (MAFES. Bulletin, 1146).

McGREGOR, K.C.; MUTCHLER, C.K.; CULLUM, R.F. Long-term management effects on runoff, erosion, and crop production. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, New York, v. 42, n. 1, p. 99-105, 1999.

MECKEL, L. et al. Effect of moisture stress on seed growth in soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 75, p. 1027-1031, 1984.

MEKONNEN, S. et al. Livestock water productivity in a water stressed environment in northern Ethiopia. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v.47, p.85-98, 2011.

MELLO, N.A. **Da filosofia a ciência do solo**. Pato Branco: [N.A. Mello], 2011. v. 1, 111 p.

MENGEL, K.; PLANKER, R.; HOFFMANN, B. Relationship between leaf apoplast pH and Fe chlorosis of sunflowers (*Helianthus annuus* L.). **Journal of Plant Nutrition**, Madison, v. 17, p. 1053-1064, 1994.

MENZEL, L.; MATOVELLE, A. Current state and future development of blue water availability and blue water demand: A view at seven case studies. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 384, p. 245-263, 2010.

MIGLIERINA A.M. et al. The effects of crop rotation and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina. 1. Soil physical and chemical properties. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 2, p. 129-135, 2000.

MILCHUNAS, D.G.; FORWOOD, J.R.; LAUENROTH, W.K. Productivity of long-term grazing treatments in response to seasonal precipitation. **Journal of Range Management**, Tucson, v. 47, p. 122-139, 1994.

MOLDEN, D. et al. A water-productivity framework for understanding and action, In: KIJNE, W.; BARKER, R.; MOLDEN, D. (Eds.). **Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvements**. Wallingford, London, UK: CAB International, 2003. p.1-18

MORAES, M.T. **Qualidade física do solo sob diferentes tempos de adoção e de escarificação do sistema plantio direto e sua relação com a rotação de culturas**. 2013. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

MORAES, M.T. et al. Soil penetration resistance in a rhodic eutrudox affected by machinery traffic and soil water content. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, p. 748-757, 2013.

MOREIRA, W.H. et al. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 389-400, 2012.

MORISON, J.I.L.; GIFFORD, R.M. Stomatal sensitivity to carbon dioxide and humidity. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 71, p. 789-796. 1983.

MORISON, J.I.L.; MORECROFT, M.D. **Plant growth and climate change**. Oxford: Blackwell Publishing. 2006. 213 p.

MUHLING, K.H.; LAUCHLI, A. Influence of chemical form and concentration of nitrogen on apoplastic pH of leaves. **Journal of Plant Nutrition**, Madison, v. 24, p. 399-411. 2001.

MULLER, B. et al. Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 6, p. 1715-1729, 2011.

NARJARY, B. et al. Water availability in different soils in relation to hydrogel application. **Geoderma**, Amsterdam, v. 188, p. 94-101, 2012.

NICOLODI, M. **Evolução da noção de fertilidade e sua percepção como uma propriedade emergente do sistema solo**. 140 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

NICOLODI, M. Poderia ser a fertilidade entendida como uma propriedade emergente do sistema solo?. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 102, p. 8-15, 2007.

NICOLODI, M.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I. Evolução da fertilidade do solo do Planalto do Rio Grande do Sul nas últimas quatro décadas. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 111, p. 10-16, 2009.

NIEMIARA, A.X.; GOY, M. Use of crop water stress index to schedule irrigation of freeway landscape plants. **HortScience**, New York, v. 25, n. 3, p. 302-305, 1990.

NOVAK, L.R. et al. Efeito do tráfego de trator e da pressão de contato pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro álico, em dois níveis de umidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 12, p. 1587-1595, 1992.

O'LEARY, G.; CONNOR, D. Stubble retention and tillage in a semi arid environment: Soil mineral nitrogen accumulation during fallow, **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 52, p. 221-229, 1997.

OADES, J.M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, n. 1-4, p. 377-400, 1993.

OGUNTUNDE, P.G.; VAN DE GIESEN, N.; SAVENIJE, H.H.G. Measurement and modeling of transpiration of a rain-fed citrus orchard under subhumid tropical conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 87, p. 200-208, 2007.

OKI, T; KANAE, S. Global hydrological cycles and world water resources. **Science**, New York, v. 313, p. 1068-1072, 2006.

OLIVEIRA, R.S. et al. Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil. **Functional Ecology**, London, v. 19, p. 574-581, 2005c.

OLIVEIRA, R.S.; T.E. DAWSON; S.S.O. BURGESS. Evidence for direct water absorption by pseudostems of the desiccation-tolerant plant *Vellozia flavicans* in the savannas of central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 21, p. 585-588, 2005b.

OLIVEIRA, R.S. et al. Hydraulic redistribution in three Amazonian trees. **Oecologia**, Berlin, v. 145, p. 354-363, 2005a.

OOSTERHUIS, D.M.; WALKER, S.; EASTHAM, J. Soybean leaflet movements as an indicator of crop water stress. **Crop Science**, Madison, v. 25, p. 1101-1106, 1985.

ORELLANA, J.A.; PILATTTI, M.A.; GRENÓN, D.A. Soil quality: an approach to physical state assesment. **Journal of Sustainable Agriculture**, London, v. 9, p. 91-108, 1997

OREN, R. et al. Survey and synthesis of intra- and interspecific variation in stomatal sensitivity to vapour pressure déficit. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 22, p. 1515-1526, 1999.

ORT, D.R.; OXBOROUGH, K.; WISE, R.R. Depressions of photosynthesis in crops with water deficits. In: BAKER, N.R.; BOWYER, J.R. (Ed.). **Photoinhibition of photosynthesis from molecular mechanisms to the field**. Oxford: BIOS Scientific Publishers Ltd, 1994. p. 315-329

PALTA, J.A. et al. Large root systems: are they useful in adapting wheat to dry environments. **Functional Plant Biology**, Collingwood, v. 38, p. 347-354, 2011.

PAN, D. **Soybean responses to elevated temperature and doubled CO₂**. 1996. 227 p. Dissertation (Ph.D) - University of Florida, Gainesville, Florida, USA, 1996.

PANACHUKI, E. et al. Perdas de solo e de água e infiltração de água em lotassolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1777-1785, 2011.

PARKER, C.J. et al. Effects of subsoil loosening and irrigation on soil physical properties, root distribution and water uptake of potatoes (*Solanum tuberosum*). **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 13, p. 267-285, 1989.

PARR, J.F. et al. Improving the sustainability of dryland farming systems: a global perspective. In: SINGH, R.P.; PARR, J.F.; STEWART, B.A. (Ed.) **Dryland agriculture: strategies for sustainability**. New York: Springer-Verlag, 1990. p. 1-18 (Advances in soil science, v. 13)

PASSIOURA, J.B. Soil conditions and plant growth. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, p. 311-318, 2002.

PASSIOURA, J.B. Phenotyping for drought tolerance in grain crops: when is it useful to breeders. **Functional Plant Biology**, Collingwood, v. 39, p. 851–859, 2012.

PASSIOURA, J.B.; ANGUS, J.F. Improving productivity of crops in water-limited environments. **Advances in Agronomy**, Madison, v.106, p.37-75, 2010.

PATAKAS, A., NOITSAKIS, B. CHOUZOURI, A. Optimization of irrigation water use in grapevines using the relationship between transpiration and plant water status. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 106, p. 253-259, 2005.

PEDEN, D.; TADESSE, G.; HAILESLASSIE, A. Livestock water productivity: implications for sub-Saharan Africa. **The Rangeland Journal**, Collingwood, v. 31, p. 187–193. 2009.

PEDEN, D.; TADESSE, G.; MISRA, A.K. Water and livestock for human development. In: MOLDEN, D. (Ed.) **Water for Food, Water for Life: a comprehensive assessment of water management in agriculture**. London: Earthscan, Colombo: International Water Management Institute, 2007. p. 485–514.

PEET, M.M.; KRAMER, P.J. Effects of decreasing source/sink ratio in soybean on photosynthesis photorespiration, transpiration and yield. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 3, p. 201-206, 1980.

PETEAN, L.P.; TORMENA, C.A.; ALVES, S.J. Intervalo hídrico ótimo de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1515-1526, 2010.

PETTIGREW, W.T. et al. A vapor pressure deficit effect on crop canopy photosynthesis. **Photosynthesis**, Amsterdam, v. 24, p. 27-34, 1990.

PIERUSCHKA, R.; HUBER, G.; BERRY, J.A. Control of transpiration by radiation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Boston, v.107, n.30, p.13372-13377, 2010.

PIMENTEL, D. et al. Water resources: agricultural and environmental issues. **BioScience Journal**, Uberlândia, v. 54, n. 10, p. 909-918, 2004.

PREMACHANDRA, G.S. et al. Osmotic adjustment and stomatal response to water deficits in maize. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 43, p. 1451-1456, 1992

PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo**. 4.ed. São Paulo: Nobel, 1982. 541p.

QUEENSLAND. Government. Department of primary industries and fisheries. **Isohydic and anisohydic characterisation of vegetable crops**. 2009. Disponível em: <http://era.deedi.qld.gov.au/3052/1/Iso-anisohydic_vegetable_report_PR09-4248-sec.pdf>. Acesso em Set. 2012.

RAPER, R.L. Agricultural traffic impacts on soil. **Journal of Terramechanics**, Amsterdam, v. 42, n. 3-4, p. 259-280, 2005.

RASCHKE, K. Stomatal Responses to Pressure Changes and Interruptions in the Water Supply of Detached Leaves of *Zea mays* L. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 45, n. 4, p. 415-423, 1970.

RAY, J.D. et al. The effect of vapor pressure deficit on maize transpiration response to a drying soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 239, p. 113-121, 2002.

REBETZKE, G.J. et al. Selection for reduced carbon-isotope discrimination increases aerial biomass and grain yield of rainfed bread wheat. **Crop Science**, Madison, v. 42, p. 739-745, 2002.

REICH, P.B.; HINCKLEY, T.M. Influence of pre-dawn water potential and soil-to-leaf hydraulic conductance on maximum daily leaf diffusive conductance in two oak species. **Ecology**, New York, v. 3, p. 719-726, 1989.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 12, p. 211-216, 1988.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

REICHERT, J.M. et al. Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1547-1560, 2009a.

REICHERT, J.M. et al. Settling velocity, aggregate stability, and interrill erodibility of soils varying in clay mineralogy. **Soil and Water Conservation Management**, Oklahoma, v. 73, p. 1369-1377, 2009b.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e Florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M. (Ed.) **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v.5, p. 49-134

REICHERT, J.M. et al. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, p. 242-254, 2009c.

REICOSKY, D.C.; DEATON, D.E. Soybean water extraction, leaf water potential, and evapotranspiration during drought. **Agronomy Journal**, Madison, v. 71, p. 45-50, 1979.

REICOSKY, D.C.; SMITH, R.C.G.; MEYER, W.S. Foliage temperature as a means of detecting stress of Cotton subjected to a short-term water-table

gradient. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 35, p. 193-203, 1985.

REID, J.B.; HASHIM, O.; GALLAGHER, J.N. Relations between available and extractable soil water and evapotranspiration from a bean crop. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 9, p. 193-209, 1984.

REID, J.B.; RENQUIST, A.R. Enhanced root production as a feed-forward response to soil water deficit in field-grown tomatoes. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 24, p. 685-692. 1997.

REINERT, D.J.; COLLARES, G.L ; REICHERT, J.M. Penetrômetro de cone com taxa constante de penetração no solo: desenvolvimento e teste de funcionalidade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 304-316, 2007.

REINERT, D.J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo – protótipos e teste. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1931-1935, 2006.

RESZKOWSKA, A. et al. Influence of grazing on soil water and gas fluxes of two inner Mongolian steppe ecosystems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 111, p. 180-189, 2011.

REYNOLDS, W.D. et al. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. **Geoderma**, Amsterdam, v. 152, p. 252-263, 2011.

RICHARD, G. et al. Effect of compaction on the porosity of a silty soil: influence on unsaturated hydraulic properties. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 52, p. 49-58, 2001.

RICHARDS, J.H.; CALDWELL, M.M. Hydraulic lift: Substantial nocturnal water transport between soil layers by *Artemisia tridentata* roots. **Oecologia**, Berlim, v. 73, p. 486-489, 1987.

RICHARDS, L.A. **Capillary conduction of liquids in porous mediums.** Physics 1, p.318-333, 1931.

RICHARDS, R.A. Defining selection criteria to improve yield under drought. **Plant growth regulation**, Verlag, v. 20, p. 157-166, 1996.

RICHIE, S., HANWAY, J.J.; THOMPSON, H.E. **How a soybean plant develops.** Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1982. (Special Report, 53).

RITCHIE, J.T. Influence of soil water status and meteorological conditions on evaporation from a corn canopy. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, p. 893-897, 1973.

RITCHIE, J.T. Soil water availability. **Plant and Soil**, The Hague, v. 58, p. 327-338, 1981a.

RITCHIE, J.T. Water dynamics in the soil-plant-atmosphere system. **Plant and Soil**, The Hague, v. 58, p. 81-96, 1981b.

ROCKSTRÖM, J. Water for food and nature in the tropics: vapour shift in rain-fed agriculture. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B – **Biological Sciences**, London, v. 358, n. 1440, p. 1997-2009, 2003.

ROCKSTRÖM, J.; FALKENMARK, M. Semiarid crop production from a hydrological perspective: gap between potential and actual yields. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 19, n. 4, p. 319-346, 2000.

ROCKSTRÖM, J.; FALKENMARK, M.; LANNERSTAD, M. Assessing the water challenge of a new green revolution in developing countries. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Boston, v. 104, p. 6253–6260, 2007.

ROCKSTRÖM, J. et al. Linkages among water vapor flows, food production, and terrestrial ecosystem services. **Conservation Ecology**, Melbourne, v. 3, n. 2, p. 5, 1999.

RODRIGUEZ-ITURBE, I.; PORPORATO, A. **Ecohydrology of water controlled ecosystems: soil moisture and plant dynamics.** Cambridge : Cambridge University Press, 2004.

ROSA, L.M.; DILLENBURG, L.R.; FORSETH, I.N. Responses of soybean leaf angle, photosynthesis and stomatal conductance to leaf and soil water potential. **Annals of Botany**, Oxford, v. 67, p. 51-58, 1991.

ROSOLEM, C.A.; FOLONI, J.S.S.; TIRITAN, C.S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, p. 109-115, 2002.

RPSRS - REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 28., 2000, Santa Maria. **Recomendações técnicas para a cultura de soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina 2000/2001**. Santa Maria: UFSM-CCR-Departamento de Defesa Fitossanitária, 2000. 148 p.

RPSRS - REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 29, 2001, Porto Alegre. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2001/2002**. Porto Alegre: FEPAGRO, 2001.138p.

RPSRS - REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 30, Cruz Alta, 2002. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, 2002/2003**. Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO, 2002. 140 p.

RPSRS - REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 31, Porto Alegre, 2003. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2003/04**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 137 p.

RPSRS - REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 32, 2004. Passo Fundo. **Indicações técnicas para a cultura de soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2004/2005**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 172p.

RPSRS - REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 33, 2005, Passo Fundo. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2005/06**. Passo Fundo: UPF, 2005. 157 p. 108

RPSRS - REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 34, 2006, Pelotas. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e**

em Santa Catarina 2006/07. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 237 p.

RPSRS - REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 35, 2007, Santa Maria. **Recomendações técnicas para a cultura de soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina 2007/2008**. Santa Maria: UFSM-CCR, 2007. 201 p.

RPSRS - REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 36, 2008, Porto Alegre. **Recomendações técnicas para a cultura de soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina 2008/2009**. Porto Alegre: Fepagro, 2008. 137 p.

RPSRS - REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 37, 2009, Porto Alegre. **Recomendações técnicas para a cultura de soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina 2009/2010**. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 144 p.

RPSRS - REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 38, 2010, Cruz Alta. **Recomendações técnicas para a cultura de soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina 2010/11 e 2011/12**. Cruz Alta: Fundacep Fecotrigo, 2010. 168p.

RUIZ, H.A.; FERREIRA, G.B.; PEREIRA, J.B.M. Estimativa da capacidade de campo de latossolos e neossolos quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 389-393, 2003.

RUNGE, E.A.; ODELL, R.T. The relation between precipitation, temperature and the yield of soybeans at the Agronomy South Farm. **Agronomy Journal**, Madison, v. 52, n. 5, p. 245-247, 1960.

RYDBERG, T. **Studies in ploughless tillage in Sweeden 1975-1976**. Uppsala: Division of Soil Management, Swedish University of Agricultural Sciences, 1987. (Report 76). 129 p.

RYSCHAWY, J. et al. Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming? **Animal**, Cambridge, v. 6, p. 1722-1730, 2012.

SADOK, W.; SINCLAIR, T.R. Genetic variability of transpiration response to vapor pressure deficit among soybean cultivars. **Crop Science**, Madison, v. 49, p. 955-960, 2009.

SÁNCHEZ-GIRÓN, V. **Dinámica y mecânica de suelos**. Madrid: Ediciones Agrotécnicas, 1996. 426 p.

SANTI, A.L. et al. Infiltração de água no solo, determinada por diferentes métodos, como indicador do potencial produtivo em dois Latossolos manejados com agricultura de precisão. **Interciência**, Caracas, v. 37, n. 3, p. 204-208, 2012.

SAS - STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **User's guide**. Cary: SAS Institute, 2002. 525p.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT procedure guide for personal computers**. 5.ed. Cary, 1999.

SAVORY, A. **Holistic Resource Management**. Island Press, 564 p, 1988.

SCHACHTMAN, D.P.; GOODGER, J.Q.D. Chemical root to shoot signaling under drought. **Trends in Plant Science**, Amsterdam, v. 13, n. 6, p. 281-287, 2008.

SCHLICHTING, C.D. The evolution of phenotypic plasticity in plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 17, p. 667-693, 1986.

SCHLINK, A.C.; NGUYEN, M.L.; VILJOEN, G.J. Water requirements for livestock production: a global perspective. **Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)**, Paris, v. 29, n. 3, p. 603-619, 2010.

SCHOLANDER, P.F. et al. Salt balance in mangrove. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 7, p. 722-729, 1962.

SCHOLANDER, P.F. et al.; HAMMEL, H.T.; HEMMINGSEN, E.A.; BRADSTREET, E.D. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. **Botany**, Oxford, v.52, p.119-124, 1964.

SCHULZE, E.D. Carbon dioxide and water vapor exchange in response to drought in the atmosphere and in the soil. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 37, p. 247-274, 1986.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R.M. Iron oxides In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Eds). **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p.379-438

SCHWINNING, S. et al. Thresholds, memory, and seasonality: understanding pulse dynamics in arid/semi-arid ecosystems. **Oecologia**, Berlim, v. 141, p. 191-193, 2004.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. 2003. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2003.

SECCO, D. et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 797-804, 2004.

SECKLER, D.; MOLDEN, D.; SAKTHIVADIVEL, R. The concept of efficiency in water-resources management and policy. In: KIJNE, J.W.; BARKER, R.; MOLDEN, D. (Eds.) **Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement**. Wallingford, London, UK: CAB International, 2003. p.37-51

SEMMEEL, H. et al. The dynamics of soil aggregate formation and the effect on soil physical properties. **Soil Technology**, Amsterdam, v. 3, p. 13-129, 1990.

SERVADIO, P. et al. Effects on some soil qualities in Central Italy following the passage of four wheel drive tractor fitted with single and dual tires. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, p. 87-100, 2005.

SHANER, D.L.; BOYER, J.S. Nitrate reductase activity in maize leaves. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 58, p. 505-509. 1976.

SHARP, R.E. et al. Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 2343-2351, 2004.

SHIKLOMANOV, I. Appraisal and assessment of world water resources. **Water Int.**, v. 25, p. 11-32, 1999.

SICZEK, A.; LIPIEC, J. Soybean nodulation and nitrogen fixation in response to soil compaction and surface straw mulching. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 114, p. 50-56, 2011.

SIEBERT, S.; DÖLL, P. Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 384, n. 3-4, p. 198-217, 2010.

SILVA NETO, L.F. et al. Óxidos de ferro em latossolos tropicais e subtropicais brasileiros em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1873-1881, 2008.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. Effect of soil water content variation on the least limiting water range. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 61, p. 884-888, 1997a.

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

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 58, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, R.H.; ROSOLEM, R.H. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 855-860, 2002.

SILVA, V.R. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. 2003. 171 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SILVA, V.R. et al. Soil water dynamics related to the degree of compaction of two Brazilian oxisols under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1097-1104, 2008.

SIMS, J.R. Crest farming: a strategy for dryland farming in the Northern Great Plains-Intermountain region. **American Journal of Alternative Agriculture**, Cambridge, v. 4, p. 85-90, 1989.

SINCLAIR, T.R.; LUDLOW, M.M. Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 12, p. 213-217, 1985.

SINCLAIR, T.R. et al. Comparison of vegetative development in soybean cultivars for low-latitude environment. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 1, p. 53-59, 2005.

SINCLAIR, T.R.; ZWIENIECKI, M.A.; HOLBROOK, N.M. Low leaf hydraulic conductance associated with drought tolerance in soybean. **Physiologia Plantarum**, London, 132, p. 446-451, 2008.

SINOQUET, H.; RAKOCEVIC, M.; VARLET-GRANCHER, C. Comparison of models for daily light partitioning in multispecies canopies. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 101, p. 251-263, 2000.

SIONIT, H.; KRAMER, P.J. Effect of water stress during different stages of growth of soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, p. 274-278, 1977.

SKINNER, R.H. Hydraulic lift in humid-temperature pasture systems. **Agronomy Abstracts**, Madison, n. 3667, 2004.

SKINNER, R.H.; GUSTINE, D.L.; SANDERSON, M.A. Growth, water relations, and nutritive value of pasture species mixtures under moisture stress. **Crop Science**, Madison, v. 44, p. 1361-1369, 2004.

SMITH, R.C.G.; BARRS, H.D. Inferring stomatal resistance of sparse crops from infrared measurements of foliage temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 42, p. 183-198, 1988.

SMITH, R.C.G.; BARRS, H.D.; MEYER, W.S. Foliage temperature measurements and its application to agronomic research. In: YATES, J.J. (Ed.) **Crop and pasture production - science and practice**: proceedings of the 3rd Australian Agronomy Conference, January - February 1985, The University of

Tasmânia, Hobart. Parkville, Vic. : Australian Society of Agronomy, [1985]. 425 p.

SOANE, B.D. The role of organic matter in soil compactability: a review of some practical aspects. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 16, p. 179-201, 1990.

SOUSSANA, J. F.; LEMAIRE, G. Coupling the carbon and nitrogen cycles through improved grassland management and crop–livestock integration. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 2, 2012, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2012. 1 CD-ROM.

SOUZA, E.D. et al. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p.1829-1836, 2009.

SOUZA, E.D. et al. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1365-1374, 2010.

SOUZA, L.D.; REICHARDT, K. Estimativas da capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, p. 183-189, 1996.

SPECHT, J.E.; HUME, D.J.; KUMUDINI, S.V. Soybean Yield Potential - A Genetic and Physiological Perspective, **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 1560-1570, 1999.

SPOOR, G.; TIKINK, F.G.J.; WEISSKOPF, P. Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, p. 175-182, 2003.

SPOSITO, G. Green water and global food security. **Vadose Zone Journal**, [Madson], Anniversary issue, v.12, n.4, p.1-6, 2013.

STEFANELLO, F.T.; BONETTI, L.P. Características agromorfológicas de variedades de soja indicadas para cultivo no Rio Grande do Sul, Safra 2011/2012. In: SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA

E EXTENSÃO, 16., MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., MOSTRA DE EXTENSÃO, 9., 2011, Cruz Alta. **[Anais]**. [Cruz Alta, 2011].

STEVENS, C.J. et al. Impact of nitrogen deposition on the species richness of grasslands. **Science**, New York, v. 303, n. 5665, p. 1876-1879, 2004.

STEVENSON, K.R.; SHAW, R.H. Effects of leaf orientation on leaf resistance to wáter vapor diffusion in soybean (*Glycine max* L. Merr) leaves. **Agronomy Journal**, Madison, v. 63, p. 327-329, 1970.

STIRZAKER, R.J.; PASSIOURA, J.B. The water relations of the root-soil interface. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 19, p. 201-208, 1996.

STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

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

SULEIMAN, A.A.; RITCHIE, J.T. Modeling soil water redistribution during second-stage evaporation. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 67, n. 2, p. 377-386, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TANAKA, D.L. et al. An integrated approach to crop/livestock systems: Forage and grain production for swath grazing. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Amsterdam, v. 20, n. 4, p.223-231, 2005.

TANGUILIG, V.C. et al. Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential, transpiration, and nutrient uptake of rice, maize, and soybean. **Plant and Soil**, The Hague, v. 103, p. 155-168, 1987.

TARAWALLY, M.A. et al. Field compaction at different soil-water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferralsol in Western Cuba. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 2, p. 95-103, 2004.

TARDIEU, F.; BRUCKLER, L.; LAFOLIE, F. Root clumping may affect the root water potential and the resistance to soil-root water transport. **Plant and soil**, The Hague, v. 140, p. 291-301, 1992.

TARDIEU, F.; ZHANG, J.; GOWING, D.J.G. Stomatal control by both (ABA) in the xylem sap and leaf water status: a test model for droughted or ABA-fed field-grown maize. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 16, p. 413-420, 1993.

TAYLOR, S.A.; ASHCROFT, G.L. **Physical edaphology**. San Francisco: WH Freeman and Company, 1972. p.553,

TEDESCO, M.J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174 p.

TEIXEIRA, C.F.A.; PAULETTO, E.A.; SILVA, J.B. Resistência mecânica à penetração de um Argissolo Amarelo distrófico típico sob diferentes sistemas de produção em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1165-1167, 2003.

THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. **Soja – Manejo para alta produtividade de grãos**. Porto Alegre: Editora Evangraf, 2010. 243 p.

THOMAS, A.L.; COSTA, J.A.; PIRES, J.L.F. Rendimento de grãos de soja afetado pelo espaçamento entre linhas e fertilidade do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 543-546, 1998.

THORNTON, P.K. et al. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: a review of what we know and what we need to know. **Agricultural System**, Amsterdam, v. 101, p. 113-127, 2009.

TILMAN, D. et al. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Science**, Boston, v. 108, p. 20260-20264, 2011.

TIMLIN, D.J. et al. Simple parametric methods to estimate soil water retention and hydraulic conductivity. **Developments in Soil Science**, Amsterdam, v. 30, p. 71-93, 2004.

TINKER, P.B.; NYE, P.H. **Solute movement in the Rhizosphere**. Oxford: Oxford University Press, 2000.

TOLK, J.A. Soils, permanent wilting points. In: TRIMBLE, S.W. (Ed.) **Encyclopedia of Water Science**. [Boca Raton: CRC Press], 2010. p. 927-929

TORMENA, C.A. et al. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um latossolo vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 211-219, 2007.

TORMENA, C.A. et al. Intervalo ótimo de potencial de água no solo: Um conceito para avaliação da qualidade física do solo e manejo da água na agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, p. 286-292, 1999a.

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**, Viçosa, v. 22, p. 573-581, 1998.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 52, p. 223-232, 1999b.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999. 58p. (Circular Técnica, 23)

TUBEILEH, A. et al. Effect of soil compaction on photosynthesis and carbon partitioning within a maize–soil system. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 71, n. 2, p. 151-170. 2003.

TURNER, N.C. Agronomic options for improving rainfall-use efficiency of crops in dryland farming systems. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.55, p. 2413-2425, 2004.

TURNER, N.C.; BEGG, J.E. Plant-water relations and adaptation to stress. **Plant and Soil**, The Hague, v. 58, p. 97-131, 1981.

TURNER, N.C. et al. Agronomic and physiological responses of soybean and sorghum crops to water deficits. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 5, p. 179-194, 1978.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **UNEP 2007 Annual Report**. Nairobi, Kenya: UNEP, 2007.

UNGER, P.W.; KASPAR, T.C. Soil compaction and root growth: a review. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, n. 5, p. 759-766, 1994.

UNITED STATES. Department of Agriculture. **Thermal Crop Water Stress Index**. < <http://www.ars.usda.gov/Main/docs.htm?docid=9715>>. Acesso em 23 Ago. 2012.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Comparação entre os sistemas fotossintéticos C3 e C4**. Disponível em: < <http://felix.ib.usp.br/pessoal/marcos/minhawe3/PDFs/Pratica%20fotossintese.pdf>>. Acesso em: 22 Out. 2012.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA. Cooperative extension. **New grazing system improves forage availability and water use efficiency**. Disponível em: < <http://cetehama.ucanr.edu/?impact=90>>. Acesso em: 10 nov. 2012.

UNIVERSITY OF GEORGIA. **Forage water use**. Disponível em: < http://www.caes.uga.edu/commodities/fieldcrops/forages/Ga_Cat_Arc/2002/july02.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2011.

VADEZ, V. et al. DREB1A promotes root development in deep soil layers and increases water extraction under water stress in groundnut. **Plant Biology**, Stuttgart, v.15, 45-52, 2013a.

VADEZ, V. et al. Water: the most important “molecular” component of water stress tolerance research. **Functional Plant Biology**, London, v.40, p. 1310-1322, 2013b.

VADEZ, V. et al. Modelling possible benefit of root related traits to enhance terminal drought adaptation of chickpea. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 137, p. 108-115, 2012.

VARVEL, G.E.; WILHELM, W.W. No-tillage increases soil profile carbon and nitrogen under long-term rainfed cropping systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 114, p. 28-36, 2011.

VEIGA, M.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Tillage systems and nutrient sources affecting soil cover, temperature and moisture in a clayey oxisol under corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 2011-2020, 2010.

VERBURG, K.; BOND, W.; HUNT, J.R. Fallow management in dryland agriculture: Explaining soil water accumulation using a pulse paradigm. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 130, p. 68-79, 2012.

VERBURG, P.H. et al. Land use change modelling: current practice and research priorities. **GeoJournal**, Amsterdam, v. 61, n. 4, p. 309- 324, 2004.

VERHOEF, A.; CAMPBELL, C.L. Evaporation measurement. In: ANDERSON, M.G. (Ed.). **Encyclopedia of hydrological science**. Chichester: John Wiley & Sons, 2005. v.1.

VERHOEF, A.; EGEE, G. Soil water and its management. In: GREGORY, P.J.; NORTCLIFF, S. (Eds.). **Soil conditions and plant growth**. Chichester, John Wiley & Sons, 2013. p. 269-322

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. **O solo como sistema**. Curitiba: UFPR, 2011. 104 p.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 743-755, 2009.

VOGELMANN, E.S. et al. Water repellency in soils of humid subtropical climate of Rio Grande do Sul, Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 110, p. 126-133, 2010.

WALL, D.A.; STOBBE, E.H. The effect of tillage on soil temperature and corn (*Zea mays* L.) growth in Manitoba. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa v. 64, p. 59-67, 1984.

WALLACE, J.S. The measurement and modeling of evaporation from semiarid land, 1991. In: SIVAKUMAR, M.V.K. et al. (Eds.). **Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone**, Proc. Niamey Workshop, February 1991. Pantancheru, India: ICRISAT, 1992. p. 131-148. (IAHS Publ. n. 199)

WALLACE, J.S.; BATCHELOR, C.H. Managing water resources for crop production. **Philosophy Transactions of the Royal Society of London**, London, v. 352, p. 937-947, 1997.

WANG, X.F. et al. Wet periods in north-eastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies, **Nature**, Paris, v. 432, p. 740-743, 2004.

WEBSTERS. [stress] In: Disponível em: <<http://dictionary.reference.com>>. Acesso em: 18 ago. 2010.

WHITE, R.G.; KIRKEGAARD, J.A. The distribution and abundance of wheat roots in a dense, structured subsoil-simplications for water uptake. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 33, p. 133-148, 2010.

WHITMORE, A.P.; WHALLEY, W.R. Physical effects of soil drying on roots and crop growth. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, n. 10, p. 2845-2857, 2009.

WIEN, H.C.; LITTLETON, E.J.; AYANABA, A. Drought stress of cowpea and soybean under tropical conditions. In: MUSSEL, H.; STAPLES, R.C. (Eds). Stress physiology in crop plants. **Wiley Interscience**, New York. pp. 283-310, 1979.

WILKINSON, S. et al. Effects of xylem pH on transpiration from wild-type and flacca tomato leaves: a vital role for abscisic acid in preventing excessive water loss even from well-watered plants. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 117, p. 703-709, 1998.

WILLATT, S.T.; PULLAR, D.M. Changes in soil physical properties under grazed pastures. **Australian Journal of Soil Research**, Lismore, v. 22, p. 343-348, 1984.

WORLD BANK. **Agriculture for development**. Washington, D.C.: The World Bank, 2008. (World Development Report.)

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought, acclimation, and stress tolerance. **Photosynthetica**, Amsterdam, v.38, n.1, p.171-186, 2000.

YOSHIDA, S.; ADACHI, K. Effects of cropping and puddling practices on the cracking patterns in paddy fields. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 47, p. 519-532, 2001.

YOUNG, I.M.; CRAWFORD, J.W. Interactions and self-organization in the soil-microbe complex. **Science**, New York, v. 304, p. 1634-1637, 2004.

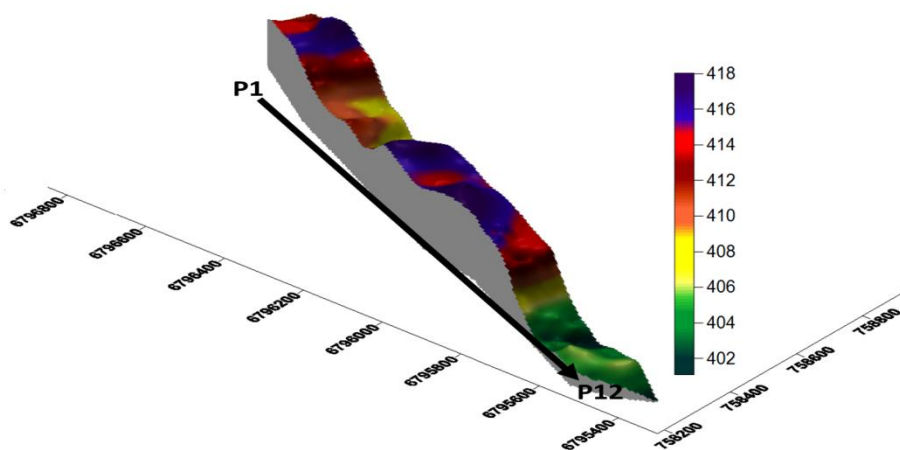
ZAMAN-ALLAH, M.; JENKINSON, D.; VADEZ, V. A conservative pattern of water use, rather than deep or profuse rooting, is critical for the terminal drought tolerance of chickpea. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, p. 4239-4252, 2011.

ZHANG, H.; HARTGE, K. H.; RINGE, H. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactibility. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 61, n. 1, p. 239-245, 1997.

ZOU, C. et al. Least limiting water range: a potential indicator of physical quality of forest soils. **Australian Journal of Soil Research**, Lismore, v. 38, n. 1, p. 947-958, 2000.

9. APÊNDICES

Apêndice 1. Mapa planialtimétrico da área experimental na Fazenda do Espinilho – São Miguel das Missões RS. Fonte: Conte (não publicado).



Apêndice 2. Características químicas do solo da área experimental (São Miguel das Missões RS)

Pastejo	Camada	pH ¹	K ²	P ²	Ca ³	Mg ³	Al ³	H+Al ⁴	V	m
	--- cm ---		- mg dm ⁻³ -		----- cmol _c dm ⁻³ -----				-----%-----	
Intenso	0 - 5	4,8	109	18	4,5	3,2	0,6	9,8	45	7
	5 - 10	4,6	60	11	3,5	2,6	0,9	7,8	45	13
	10 - 20	4,5	31	5	2,5	2,0	1,7	12,0	28	27
	20 - 30	4,4	25	3	1,7	1,4	2,8	17,4	15	48
	30 - 50	4,4	22	2	1,7	1,3	2,9	16,6	16	49
Moderado	0 - 5	5,1	180	16	4,2	3,2	0,5	8,5	49	6,1
	5 - 10	5,2	134	10	4,3	3,1	0,8	8,6	49	9,8
	10 - 20	5,0	90	4	2,6	2,2	1,4	10,4	34	23
	20 - 30	4,8	56	2	1,5	1,6	2,2	12,3	22	42
	30 - 50	4,9	45	1	1,2	1,3	2,6	13,9	17	49
Sem	0 - 5	4,8	335	21	4,5	3,5	0,9	7,8	53	9,2
	5 - 10	4,8	131	15	2,3	1,6	1,2	6,2	41	22
	10 - 20	4,8	55	7	2,1	1,5	1,4	6,7	36	28
	20 - 30	4,8	27	5	1,1	0,7	2,0	9,8	16	53
	30 - 50	4,8	23	3	0,9	0,6	2,0	9,2	15	56

¹ pH em água, relação 1:1. ² Determinado pelo método de Mehlich 1. ³ Determinado com KCl 1 mol L⁻¹. ⁴ Determinado indiretamente pelo método SMP. V = saturação por bases. m = saturação por alumínio.

Apêndice 3. Teores de carbono orgânico, diâmetro médio ponderado, teor de argila e densidade de partículas da área experimental (São Miguel das Missões RS)

Pastejo	Camada	COT	COP	CAM	DMP	Argila	Classe textural	Dp
	---cm---	-----Mg ha ⁻¹ -----			mm	g kg ⁻¹		kg dm ⁻³
Intenso	0 - 5	15,7	2,79	12,9	4,90	538	Argiloso	2,50
	5 - 10	11,8	0,68	11,1	4,65	557	Argiloso	2,59
	10 - 20	20,4	0,94	19,5	3,06	572	Argiloso	2,50
	20 - 30	1,48	0,75	0,72	2,28	601	Muito argiloso	2,55
	30 - 50	2,13	1,55	0,58	2,14	603	Muito argiloso	2,49
Moderado	0 - 5	16,7	2,49	14,3	5,44	534	Argiloso	2,53
	5 - 10	14,0	0,89	13,1	4,82	569	Argiloso	2,57
	10 - 20	23,9	0,88	23,0	2,81	582	Argiloso	2,53
	20 - 30	1,84	0,85	0,98	1,98	595	Argiloso	2,54
	30 - 50	3,25	1,91	1,34	1,57	625	Muito argiloso	2,51
Sem	0 - 5	19,7	1,54	18,1	5,20	570	Argiloso	2,45
	5 - 10	14,7	0,42	14,3	2,72	604	Muito argiloso	2,46
	10 - 20	20,8	1,04	19,8	1,63	701	Muito argiloso	2,41
	20 - 30	1,93	0,94	1,10	1,00	608	Muito argiloso	2,56
	30 - 50	3,45	2,72	0,38	1,04	564	Argiloso	2,50

[†]COT= carbono orgânico total; COP = carbono orgânico particulado; CAM = carbono associado aos minerais; DMP = diâmetro médio ponderado; Dp = densidade de partícula.

A distribuição do tamanho de partículas foi obtida pelo método da pipeta (Embrapa 1997). Para a determinação da estabilidade dos agregados em água foi utilizado o método descrito por Kemper & Chepil (1965), com alterações propostas por Carpenedo & Mielniczuk (1990) e Silva & Mielniczuk (1997).

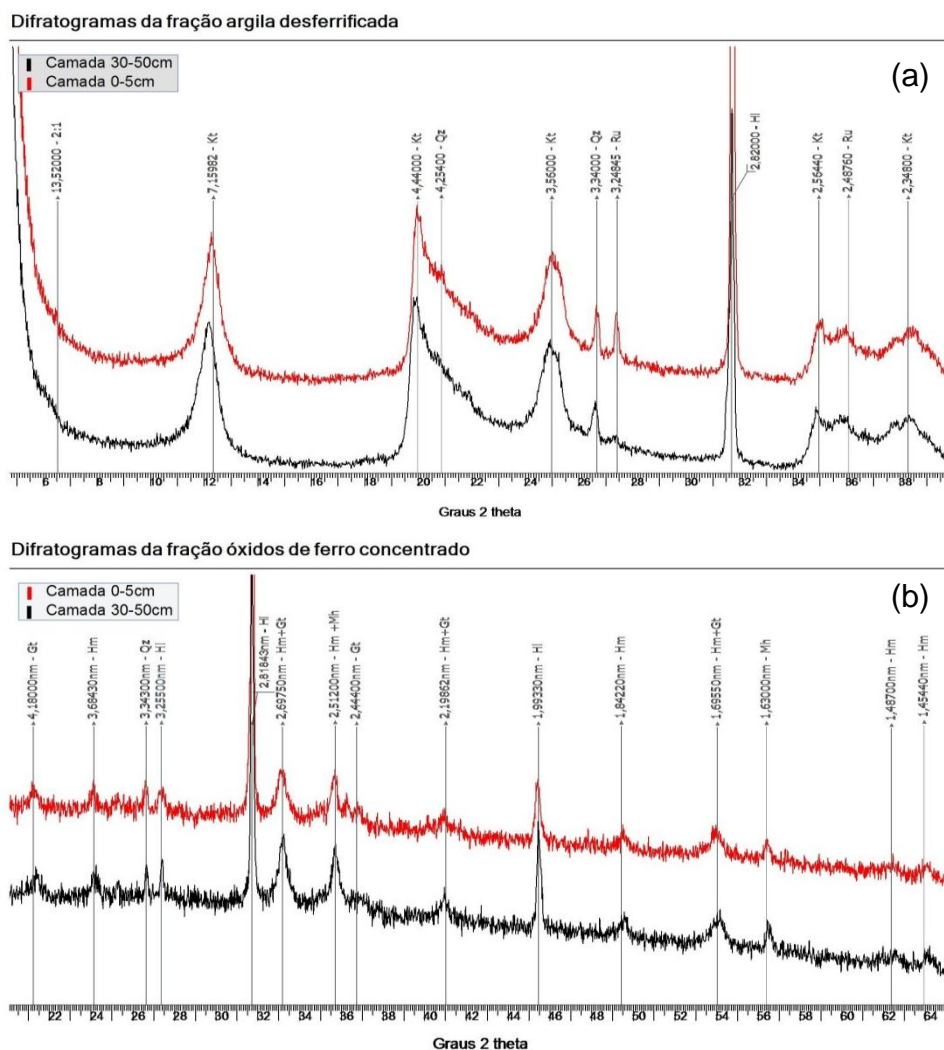
O fracionamento físico da matéria orgânica foi realizado segundo Cambardella & Elliot (1992) e foi utilizado aparelho analisador elementar TrueSpec-CHN. Os estoques de COT e COP foram calculados utilizando o procedimento da massa equivalente de solo segundo Ellert & Bettany (1995).

Apêndice 4. Mineralogia do Latossolo Vermelho distroférico da área experimental (São Miguel das Missões)

Pastejo	Camada	FeD	FeO	Relação FeO/FeD
	-----cm-----	-----g kg ⁻¹ -----		
Intenso	0 – 5	59,73	2,03	0,03
	5 – 10	60,56	1,67	0,03
	10 – 20	62,41	1,81	0,03
	20 – 30	68,99	1,66	0,02
	30 – 50	62,95	1,87	0,03
Moderado	0 – 5	71,13	2,19	0,03
	5 – 10	66,25	2,04	0,03
	10 – 20	76,12	2,08	0,03
	20 – 30	71,99	1,91	0,03
	30 – 50	73,98	2,04	0,03
Sem	0 – 5	65,97	2,84	0,04
	5 – 10	76,70	2,88	0,04
	10 – 20	70,88	2,58	0,04
	20 – 30	76,33	2,91	0,04
	30 – 50	80,26	2,77	0,03

FeD = ferro extraído por ditionito-citrato-bicarbonato. FeO = ferro extraído por oxalato de amônio.

Apêndice 5. Difratograma da fração: (a) argila desferrificada e (b) óxidos de ferro concentrado do Latossolo Vermelho distroférico da área experimental (São Miguel das Missões RS).



Minerais presentes: goethita (Gt), hematita (Hm), quartzo (Qt), halita (Hl) e maghemita (Mh).

Para a caracterização mineralógica (Apêndice 5), a fração argila foi obtida por sedimentação após dispersão das partículas por ultrassom, conforme descrito por Inda Junior et al. (2007). A concentração dos minerais óxidos de Fe foi realizada segundo Kämpf & Schwertmann (1982), e as análises de difratometria de raios X (DRX) foram realizadas em lâminas não orientadas da fração argila total e da fração óxidos de Fe concentrada (intervalo de 20 a 80° 2 θ) de amostras compostas, representativas das camadas de 0 a 20 e 20 a 50 cm, respectivamente.

Apêndice 6. Densidade do solo e resistência à penetração antes do cultivo da soja, sob integração lavoura-pecuária.

Trat.	Camada -- cm --	Densidade do solo				Resistência à penetração			
		----- Mg m ³ -----				----- MPa -----			
10 cm	0 - 5	1,42	1,41	1,35	1,35	1,51	2,35	1,34	2,77
	5 - 10	1,36	1,30	1,29	1,49	1,09	1,03	2,00	1,84
	10 - 20	1,30	1,34	1,34	1,36	1,11	1,70	1,31	1,50
	20 - 30	1,23	1,25	1,38	1,21	1,08	2,00	2,00	1,07
	30 - 50	1,33	1,42	1,35	1,30	2,00	1,58	1,92	1,13
20 cm	0 - 5	1,31	1,49	1,49	1,40	1,56	2,00	1,76	2,20
	5 - 10	1,38	1,35	1,15	1,16	2,14	1,59	3,79	2,21
	10 - 20	1,35	1,29	1,21	1,33	2,78	1,37	2,61	1,39
	20 - 30	1,24	1,17	1,23	1,36	1,24	0,77	2,10	1,99
	30 - 50	1,22	1,22	1,36	1,27	1,54	2,37	2,42	1,10
30 cm	0 - 5	1,42	1,56	1,56	1,46	2,14	3,86	3,37	3,76
	5 - 10	1,40	1,37	1,05	1,55	1,21	1,99	1,78	1,89
	10 - 20	1,37	1,38	1,33	1,47	1,96	1,55	3,17	2,15
	20 - 30	1,31	1,30	1,54	1,32	1,71	2,96	1,99	1,74
	30 - 50	1,17	1,37	1,37	1,28	1,41	1,90	2,23	1,42
40 cm	0 - 5	1,27	1,39	1,38	1,27	1,61	1,82	1,67	1,87
	5 - 10	1,33	1,37	1,30	1,29	1,21	1,67	1,55	1,06
	10 - 20	1,22	1,31	1,41	1,31	1,21	3,09	3,14	1,34
	20 - 30	1,28	1,51	1,32	1,28	3,81	2,53	1,44	1,17
	30 - 50	1,27	1,42	1,30	1,30	3,00	2,71	1,43	3,30
Sem pastejo	0 - 5	1,29	1,54	1,30	1,31	1,25	2,70	1,51	2,68
	5 - 10	1,46	1,41	1,28	1,45	1,52	1,89	1,66	1,32
	10 - 20	1,50	1,38	1,32	1,47	1,80	1,78	1,04	1,34
	20 - 30	1,66	1,58	1,34	1,66	2,90	1,31	1,60	2,18
	30 - 50	1,62	1,38	1,47	1,40	2,92	1,87	2,00	1,60

Apêndice 7. Densidade do solo e resistência à penetração após o cultivo da soja, sob integração lavoura-pecuária.

Tratamento	Camada	Densidade do solo			
		----- Mg m ³ -----			
10 cm	0 - 5	1,32	1,30	1,29	1,31
	5 - 10	1,29	1,32	1,26	1,24
	10 - 20	1,32	1,25	1,31	1,32
	20 - 30	1,22	1,24	1,30	1,20
	30 - 50	1,20	1,30	1,35	1,30
20 cm	0 - 5	1,35	1,34	1,37	1,29
	5 - 10	1,33	1,32	1,24	1,27
	10 - 20	1,30	1,28	1,25	1,30
	20 - 30	1,26	1,33	1,30	1,34
	30 - 50	1,24	1,26	1,32	1,30
30 cm	0 - 5	1,33	1,30	1,29	1,28
	5 - 10	1,32	1,33	1,30	1,31
	10 - 20	1,32	1,29	1,24	1,23
	20 - 30	1,31	1,30	1,37	1,32
	30 - 50	1,34	1,35	1,36	1,30
40 cm	0 - 5	1,30	1,31	1,35	1,36
	5 - 10	1,32	1,29	1,28	1,27
	10 - 20	1,29	1,30	1,33	1,26
	20 - 30	1,27	1,40	1,30	1,27
	30 - 50	1,36	1,38	1,33	1,31
Sem pastejo	0 - 5	1,32	1,34	1,32	1,32
	5 - 10	1,31	1,33	1,29	1,29
	10 - 20	1,34	1,33	1,34	1,32
	20 - 30	1,34	1,36	1,30	1,30
	30 - 50	1,40	1,35	1,32	1,32

Apêndice 8. Temperatura e tensão de água em folhas de soja, DPV folha-ar e diferença de temperatura entre a folha e o ar (Delta T), no período da manhã.

Trat.	Mês	Dia	Repetição	Temp folha	Tensão	DPV folha-ar	Delta T
10	dez	1	1	15,0	-0,35	0,20	0,8
10	dez	1	2	14,6	-0,50	0,15	0,3
10	dez	1	3	14,5	-0,50	0,14	0,2
10	dez	1	4	15,1	-0,50	0,20	0,8
10	dez	1	5	14,5	-0,85	0,14	0,2
20	dez	1	1	13,6	-0,30	0,05	-0,6
20	dez	1	2	13,0	-0,45	-0,01	-1,2
20	dez	1	3	13,2	-0,40	0,01	-1,0
20	dez	1	4	13,5	-0,35	0,04	-0,7
20	dez	1	5	13,2	-0,45	0,01	-1,0
30	dez	1	1	12,1	-0,20	-0,10	-2,1
30	dez	1	2	12,3	-0,35	-0,08	-2,0
30	dez	1	3	12,3	-0,55	-0,08	-1,9
30	dez	1	4	12,0	-0,50	-0,10	-2,2
30	dez	1	5	12,8	-0,60	-0,03	-1,5
40	dez	1	1	13,8	-0,40	0,07	-0,5
40	dez	1	2	13,9	-0,55	0,08	-0,4
40	dez	1	3	14,0	-0,60	0,09	-0,3
40	dez	1	4	13,9	-0,50	0,08	-0,4
40	dez	1	5	14,4	-0,50	0,13	0,1
SP	dez	1	1	11,6	-0,40	-0,14	-2,6
SP	dez	1	2	12,0	-0,30	-0,11	-2,3
SP	dez	1	3	12,6	-0,35	-0,05	-1,6
SP	dez	1	4	12,7	-0,50	-0,04	-1,5
SP	dez	1	5	11,9	-0,55	-0,12	-2,4
10	dez	2	1	15,8	-0,40	0,16	-1,4
10	dez	2	2	14,3	-0,30	0,00	-2,9
10	dez	2	3	13,8	-0,60	-0,05	-3,4
10	dez	2	4	15,1	-0,30	0,09	-2,1
10	dez	2	5	14,3	-0,90	0,00	-2,9
20	dez	2	1	14,1	-0,40	-0,02	-3,1
20	dez	2	2	12,9	-0,50	-0,14	-4,3
20	dez	2	3	13,1	-0,40	-0,12	-4,1
20	dez	2	4	13,2	-0,50	-0,11	-4,0
20	dez	2	5	12,1	-0,30	-0,22	-5,1
30	dez	2	1	11,3	-0,20	-0,29	-5,9
30	dez	2	2	11,4	-0,30	-0,28	-5,8
30	dez	2	3	11,0	-0,50	-0,32	-6,2
30	dez	2	4	10,8	-0,40	-0,34	-6,4
30	dez	2	5	12,4	-0,70	-0,19	-4,8

40	dez	2	1	15,3	-0,30	0,11	-1,9
40	dez	2	2	15,1	-0,60	0,09	-2,1
40	dez	2	3	14,9	-0,70	0,06	-2,3
40	dez	2	4	14,9	-0,50	0,06	-2,3
40	dez	2	5	14,9	-0,40	0,06	-2,3
SP	dez	2	1	10,9	-0,30	-0,33	-6,3
SP	dez	2	2	11,9	-0,30	-0,24	-5,3
SP	dez	2	3	12,3	-0,20	-0,20	-4,9
SP	dez	2	4	12,5	-0,60	-0,18	-4,7
SP	dez	2	5	11,4	-0,70	-0,28	-5,8
10	dez	3	1	14,2	-0,30	0,07	-3,3
10	dez	3	2	14,8	-0,70	0,13	-2,7
10	dez	3	3	15,1	-0,40	0,17	-2,4
10	dez	3	4	15,0	-0,70	0,16	-2,5
10	dez	3	5	14,6	-0,80	0,11	-2,9
20	dez	3	1	13,1	-0,20	-0,04	-4,4
20	dez	3	2	13,1	-0,40	-0,04	-4,4
20	dez	3	3	13,3	-0,40	-0,02	-4,2
20	dez	3	4	13,8	-0,20	0,03	-3,7
20	dez	3	5	14,3	-0,60	0,08	-3,2
30	dez	3	1	12,9	-0,20	-0,06	-4,6
30	dez	3	2	13,1	-0,40	-0,04	-4,4
30	dez	3	3	13,6	-0,60	0,01	-3,9
30	dez	3	4	13,2	-0,60	-0,03	-4,3
30	dez	3	5	13,1	-0,50	-0,04	-4,4
40	dez	3	1	12,2	-0,50	-0,13	-5,3
40	dez	3	2	13,9	-0,50	0,04	-3,6
40	dez	3	3	13,0	-0,50	-0,05	-4,5
40	dez	3	4	14,1	-0,50	0,06	-3,4
40	dez	3	5	13,8	-0,60	0,03	-3,7
SP	dez	3	1	12,3	-0,50	-0,12	-5,2
SP	dez	3	2	12,0	-0,30	-0,15	-5,5
SP	dez	3	3	12,9	-0,50	-0,06	-4,6
SP	dez	3	4	12,9	-0,40	-0,06	-4,6
SP	dez	3	5	12,3	-0,40	-0,12	-5,2
10	jan	1	1	20,9	-0,30	-0,06	-2,2
10	jan	1	2	21,3	-0,58	0,00	-1,8
10	jan	1	3	21,3	-0,41	0,00	-1,8
10	jan	1	4	21,8	-0,42	0,08	-1,3
10	jan	1	5	22,1	-0,54	0,12	-0,9
20	jan	1	1	21,1	-0,10	-0,03	-2,0
20	jan	1	2	20,9	-0,40	-0,06	-2,2
20	jan	1	3	21,8	-0,20	0,08	-1,3
20	jan	1	4	21,5	-0,30	0,03	-1,6

20	jan	1	5	21,3	-0,26	0,00	-1,8
30	jan	1	1	20,9	-0,50	-0,06	-2,2
30	jan	1	2	21,6	-0,10	0,04	-1,5
30	jan	1	3	20,7	-0,44	-0,10	-2,4
30	jan	1	4	21,3	-0,38	0,00	-1,8
30	jan	1	5	20,9	-0,40	-0,06	-2,2
40	jan	1	1	21,3	-0,10	0,00	-1,8
40	jan	1	2	21,0	-0,04	-0,05	-2,1
40	jan	1	3	20,9	-0,08	-0,06	-2,2
40	jan	1	4	20,6	-0,04	-0,11	-2,5
40	jan	1	5	21,7	-0,08	0,06	-1,4
SP	jan	1	1	21,1	-0,38	-0,03	-2,0
SP	jan	1	2	20,9	-0,14	-0,06	-2,2
SP	jan	1	3	20,9	-0,22	-0,06	-2,2
SP	jan	1	4	21,6	-0,10	0,04	-1,5
SP	jan	1	5	20,9	-0,16	-0,06	-2,2
10	jan	2	1	18,7	-0,38	-0,18	-1,8
10	jan	2	2	19,1	-0,90	-0,13	-1,4
10	jan	2	3	19,1	-0,66	-0,13	-1,4
10	jan	2	4	18,9	-0,44	-0,16	-1,6
10	jan	2	5	19,3	-0,34	-0,10	-1,2
20	jan	2	1	18,4	-0,30	-0,22	-2,1
20	jan	2	2	18,0	-0,80	-0,28	-2,5
20	jan	2	3	17,4	-0,60	-0,35	-3,1
20	jan	2	4	17,6	-0,50	-0,33	-2,9
20	jan	2	5	18,2	-0,40	-0,25	-2,3
30	jan	2	1	19,2	-0,70	-0,11	-1,3
30	jan	2	2	18,3	-0,40	-0,24	-2,2
30	jan	2	3	18,0	-0,40	-0,28	-2,5
30	jan	2	4	18,1	-0,68	-0,26	-2,4
30	jan	2	5	18,4	-0,38	-0,22	-2,1
40	jan	2	1	19,5	-0,54	-0,07	-1,0
40	jan	2	2	19,4	-0,52	-0,09	-1,1
40	jan	2	3	19,2	-0,80	-0,11	-1,3
40	jan	2	4	19,0	-0,38	-0,14	-1,5
40	jan	2	5	18,6	-0,28	-0,20	-1,9
SP	jan	2	1	17,1	-0,48	-0,39	-3,4
SP	jan	2	2	17,0	-0,32	-0,40	-3,5
SP	jan	2	3	17,2	-0,52	-0,38	-3,3
SP	jan	2	4	17,1	-0,84	-0,39	-3,4
SP	jan	2	5	17,5	-0,22	-0,34	-3,0
10	jan	3	1	14,4	-0,30	0,01	-1,6
10	jan	3	2	14,1	-0,72	-0,03	-1,9
10	jan	3	3	14,4	-0,50	0,01	-1,6

10	jan	3	4	14,2	-0,10	-0,02	-1,8
10	jan	3	5	14,1	-0,48	-0,03	-1,9
20	jan	3	1	12,5	-0,20	-0,19	-3,5
20	jan	3	2	13,2	-0,14	-0,12	-2,8
20	jan	3	3	12,8	-0,30	-0,16	-3,2
20	jan	3	4	12,8	-0,70	-0,16	-3,2
20	jan	3	5	13,1	-0,60	-0,13	-2,9
30	jan	3	1	13,6	-0,30	-0,08	-2,4
30	jan	3	2	14,4	-0,20	0,01	-1,6
30	jan	3	3	13,2	-0,22	-0,12	-2,8
30	jan	3	4	12,6	-0,20	-0,18	-3,4
30	jan	3	5	13,3	-0,38	-0,11	-2,7
40	jan	3	1	13,6	-0,20	-0,08	-2,4
40	jan	3	2	14,0	-0,52	-0,04	-2,0
40	jan	3	3	13,3	-0,20	-0,11	-2,7
40	jan	3	4	13,4	-0,30	-0,10	-2,6
40	jan	3	5	13,2	-0,28	-0,12	-2,8
SP	jan	3	1	12,1	-0,40	-0,22	-3,9
SP	jan	3	2	12,3	-0,10	-0,20	-3,7
SP	jan	3	3	12,4	-0,08	-0,20	-3,6
SP	jan	3	4	13,0	-0,10	-0,14	-3,0
SP	jan	3	5	12,7	-0,04	-0,17	-3,3
10	jan	4	1	11,4	-0,10	-0,15	-3,4
10	jan	4	2	11,6	-0,20	-0,14	-3,2
10	jan	4	3	11,1	-0,10	-0,18	-3,7
10	jan	4	4	11,6	-0,10	-0,14	-3,2
10	jan	4	5	11,4	-0,08	-0,15	-3,4
20	jan	4	1	11,4	-0,05	-0,15	-3,4
20	jan	4	2	11,9	-0,06	-0,11	-2,9
20	jan	4	3	11,8	-0,09	-0,12	-3,0
20	jan	4	4	12,2	-0,10	-0,08	-2,6
20	jan	4	5	12,6	-0,12	-0,04	-2,2
30	jan	4	1	11,5	-0,10	-0,15	-3,3
30	jan	4	2	11,6	-0,05	-0,14	-3,2
30	jan	4	3	11,7	-0,02	-0,13	-3,1
30	jan	4	4	12,2	-0,10	-0,08	-2,6
30	jan	4	5	12,1	-0,11	-0,09	-2,7
40	jan	4	1	13,0	-0,26	0,00	-1,8
40	jan	4	2	12,5	-0,40	-0,05	-2,3
40	jan	4	3	12,3	-0,28	-0,07	-2,5
40	jan	4	4	12,1	-0,28	-0,09	-2,7
40	jan	4	5	11,7	-0,40	-0,13	-3,1
SP	jan	4	1	11,9	-0,06	-0,11	-2,9
SP	jan	4	2	12,0	-0,03	-0,10	-2,8

SP	jan	4	3	12,1	-0,03	-0,09	-2,7
SP	jan	4	4	12,2	-0,05	-0,08	-2,6
SP	jan	4	5	12,4	-0,05	-0,06	-2,4
10	jan	5	1	16,8	-0,26	0,27	-1,6
10	jan	5	2	17,0	-0,40	0,30	-1,4
10	jan	5	3	16,9	-0,30	0,28	-1,5
10	jan	5	4	16,8	-0,78	0,27	-1,6
10	jan	5	5	16,3	-0,42	0,21	-2,1
20	jan	5	1	15,3	-0,62	0,10	-3,1
20	jan	5	2	15,5	-0,54	0,12	-2,9
20	jan	5	3	16,2	-0,26	0,20	-2,2
20	jan	5	4	16,0	-0,30	0,18	-2,4
20	jan	5	5	15,4	-0,28	0,11	-3,0
30	jan	5	1	15,6	-0,60	0,13	-2,8
30	jan	5	2	16,3	-0,60	0,21	-2,1
30	jan	5	3	15,5	-0,48	0,12	-2,9
30	jan	5	4	15,9	-0,44	0,16	-2,5
30	jan	5	5	15,5	-0,70	0,12	-2,9
40	jan	5	1	16,4	-0,30	0,22	-2,0
40	jan	5	2	16,1	-0,70	0,19	-2,3
40	jan	5	3	16,8	-0,10	0,27	-1,6
40	jan	5	4	16,8	-0,24	0,27	-1,6
40	jan	5	5	16,6	-0,40	0,25	-1,8
SP	jan	5	1	15,2	-0,52	0,08	-3,2
SP	jan	5	2	16,2	-0,28	0,20	-2,2
SP	jan	5	3	15,8	-0,12	0,15	-2,6
SP	jan	5	4	15,3	-0,10	0,10	-3,1
SP	jan	5	5	14,8	-0,08	0,04	-3,6
10	fev	1	1	22,1	-0,30	0,12	-1,8
10	fev	1	2	21,7	-0,20	0,06	-2,2
10	fev	1	3	22,0	-0,25	0,11	-1,9
10	fev	1	4	21,1	-0,35	-0,03	-2,8
10	fev	1	5	22,2	-0,22	0,14	-1,7
20	fev	1	1	21,8	-0,20	0,08	-2,1
20	fev	1	2	21,7	-0,40	0,06	-2,2
20	fev	1	3	21,3	-0,20	0,00	-2,6
20	fev	1	4	21,3	-0,60	0,00	-2,6
20	fev	1	5	21,8	-0,20	0,08	-2,1
30	fev	1	1	22,9	-0,30	0,26	-1,0
30	fev	1	2	22,1	-0,33	0,12	-1,8
30	fev	1	3	21,8	-0,19	0,08	-2,1
30	fev	1	4	21,4	-0,32	0,01	-2,5
30	fev	1	5	22,1	-0,40	0,12	-1,8
40	fev	1	1	21,8	-0,60	0,08	-2,1

40	fev	1	2	21,7	-0,40	0,06	-2,2
40	fev	1	3	21,7	-0,40	0,06	-2,2
40	fev	1	4	21,7	-0,50	0,06	-2,2
40	fev	1	5	21,7	-0,50	0,06	-2,2
SP	fev	1	1	22,6	-0,50	0,21	-1,3
SP	fev	1	2	22,4	-0,50	0,17	-1,5
SP	fev	1	3	22,3	-0,70	0,16	-1,6
SP	fev	1	4	22,5	-0,32	0,19	-1,4
SP	fev	1	5	22,1	-0,50	0,12	-1,8
10	fev	2	1	21,0	-0,30	-0,04	-1,7
10	fev	2	2	20,9	-0,30	-0,06	-1,8
10	fev	2	3	20,8	-0,25	-0,07	-1,9
10	fev	2	4	20,9	-0,30	-0,06	-1,8
10	fev	2	5	20,9	-0,28	-0,06	-1,8
20	fev	2	1	22,1	-0,35	0,13	-0,5
20	fev	2	2	22,5	-0,25	0,20	-0,1
20	fev	2	3	21,5	-0,17	0,03	-1,2
20	fev	2	4	20,9	-0,20	-0,06	-1,8
20	fev	2	5	21,2	-0,30	-0,01	-1,5
30	fev	2	1	21,6	-0,20	0,05	-1,1
30	fev	2	2	21,7	-0,20	0,06	-1,0
30	fev	2	3	21,0	-0,20	-0,04	-1,7
30	fev	2	4	21,6	-0,20	0,05	-1,1
30	fev	2	5	22,5	-0,20	0,20	-0,1
40	fev	2	1	20,3	-0,30	-0,15	-2,4
40	fev	2	2	19,9	-0,40	-0,21	-2,8
40	fev	2	3	19,9	-0,40	-0,21	-2,8
40	fev	2	4	20,4	-0,40	-0,13	-2,3
40	fev	2	5	20,4	-0,23	-0,13	-2,3
SP	fev	2	1	22,1	-0,30	0,13	-0,5
SP	fev	2	2	21,2	-0,30	-0,01	-1,5
SP	fev	2	3	21,5	-0,33	0,03	-1,2
SP	fev	2	4	20,8	-0,30	-0,07	-1,9
SP	fev	2	5	20,9	-0,29	-0,06	-1,8
10	fev	3	1	21,5	-0,30	0,22	-0,9
10	fev	3	2	21,5	-0,25	0,22	-0,9
10	fev	3	3	21,3	-0,20	0,18	-1,1
10	fev	3	4	21,0	-0,45	0,14	-1,4
10	fev	3	5	20,6	-0,30	0,08	-1,8
20	fev	3	1	21,0	-0,40	0,14	-1,3
20	fev	3	2	21,0	-0,32	0,14	-1,3
20	fev	3	3	21,3	-0,20	0,18	-1,1
20	fev	3	4	21,7	-0,40	0,25	-0,7
20	fev	3	5	20,1	-0,32	0,00	-2,3

30	fev	3	1	20,5	-0,30	0,06	-1,9
30	fev	3	2	21,1	-0,20	0,15	-1,3
30	fev	3	3	20,8	-0,30	0,11	-1,6
30	fev	3	4	20,4	-0,30	0,05	-2,0
30	fev	3	5	20,7	-0,20	0,09	-1,7
40	fev	3	1	20,4	-0,40	0,05	-2,0
40	fev	3	2	20,6	-0,35	0,08	-1,8
40	fev	3	3	20,3	-0,60	0,03	-2,1
40	fev	3	4	20,4	-0,40	0,05	-2,0
40	fev	3	5	20,1	-0,46	0,00	-2,3
SP	fev	3	1	20,6	-0,20	0,08	-1,8
SP	fev	3	2	20,0	-0,15	-0,01	-2,4
SP	fev	3	3	20,0	-0,20	-0,01	-2,4
SP	fev	3	4	20,2	-0,22	0,02	-2,2
SP	fev	3	5	20,5	-0,28	0,06	-1,9
10	fev	4	1	20,0	-0,38	0,00	-1,5
10	fev	4	2	19,8	-0,32	-0,03	-1,7
10	fev	4	3	19,8	-0,40	-0,03	-1,7
10	fev	4	4	19,9	-0,30	-0,02	-1,6
10	fev	4	5	20,0	-0,30	0,00	-1,5
20	fev	4	1	21,3	-0,20	0,19	-0,2
20	fev	4	2	19,0	-0,25	-0,14	-2,5
20	fev	4	3	19,3	-0,08	-0,10	-2,2
20	fev	4	4	19,8	-0,16	-0,03	-1,7
20	fev	4	5	19,8	-0,12	-0,03	-1,7
30	fev	4	1	19,7	-0,19	-0,05	-1,8
30	fev	4	2	19,9	-0,28	-0,02	-1,6
30	fev	4	3	19,2	-0,32	-0,12	-2,3
30	fev	4	4	19,5	-0,08	-0,07	-2,0
30	fev	4	5	20,3	-0,30	0,04	-1,2
40	fev	4	1	19,4	-0,26	-0,09	-2,1
40	fev	4	2	18,7	-0,23	-0,18	-2,8
40	fev	4	3	19,0	-0,20	-0,14	-2,5
40	fev	4	4	19,2	-0,30	-0,12	-2,3
40	fev	4	5	19,6	-0,35	-0,06	-1,9
SP	fev	4	1	19,4	-0,37	-0,09	-2,1
SP	fev	4	2	19,5	-0,38	-0,07	-2,0
SP	fev	4	3	19,8	-0,20	-0,03	-1,7
SP	fev	4	4	20,1	-0,25	0,01	-1,4
SP	fev	4	5	19,4	-0,26	-0,09	-2,1
10	fev	5	1	16,3	-0,20	-0,24	-2,9
10	fev	5	2	16,0	-0,30	-0,28	-3,2
10	fev	5	3	16,8	-0,32	-0,18	-2,4
10	fev	5	4	17,0	-0,30	-0,16	-2,2

10	fev	5	5	17,2	-0,24	-0,13	-2,0
20	fev	5	1	17,1	-0,26	-0,14	-2,1
20	fev	5	2	16,8	-0,42	-0,18	-2,4
20	fev	5	3	16,4	-0,31	-0,23	-2,8
20	fev	5	4	16,6	-0,26	-0,21	-2,6
20	fev	5	5	16,4	-0,16	-0,23	-2,8
30	fev	5	1	16,4	-0,22	-0,23	-2,8
30	fev	5	2	16,6	-0,08	-0,21	-2,6
30	fev	5	3	17,1	-0,12	-0,14	-2,1
30	fev	5	4	16,9	-0,22	-0,17	-2,3
30	fev	5	5	18,0	-0,30	-0,03	-1,2
40	fev	5	1	16,6	-0,10	-0,21	-2,6
40	fev	5	2	16,1	-0,30	-0,26	-3,1
40	fev	5	3	16,6	-0,28	-0,21	-2,6
40	fev	5	4	17,0	-0,26	-0,16	-2,2
40	fev	5	5	16,0	-0,10	-0,28	-3,2
SP	fev	5	1	16,8	-0,26	-0,18	-2,4
SP	fev	5	2	17,1	-0,38	-0,14	-2,1
SP	fev	5	3	16,5	-0,30	-0,22	-2,7
SP	fev	5	4	16,6	-0,42	-0,21	-2,6
SP	fev	5	5	16,4	-0,25	-0,23	-2,8
10	mar	1	1	20,2	-0,90	0,27	-2,4
10	mar	1	2	19,1	-0,72	0,11	-3,5
10	mar	1	3	17,8	-0,96	-0,06	-4,8
10	mar	1	4	19,0	-0,60	0,10	-3,6
10	mar	1	5	19,8	-1,10	0,21	-2,8
20	mar	1	1	19,5	-0,98	0,17	-3,1
20	mar	1	2	19,6	-0,74	0,18	-3,0
20	mar	1	3	21,5	-0,62	0,47	-1,1
20	mar	1	4	19,4	-0,78	0,15	-3,2
20	mar	1	5	18,6	-0,82	0,04	-4,0
30	mar	1	1	17,0	-0,66	-0,16	-5,6
30	mar	1	2	18,9	-0,52	0,09	-3,7
30	mar	1	3	17,8	-0,90	-0,06	-4,8
30	mar	1	4	17,5	-0,80	-0,10	-5,1
30	mar	1	5	17,1	-0,70	-0,15	-5,5
40	mar	1	1	18,3	-1,18	0,00	-4,3
40	mar	1	2	19,9	-1,39	0,23	-2,7
40	mar	1	3	19,6	-1,12	0,18	-3,0
40	mar	1	4	19,5	-1,02	0,17	-3,1
40	mar	1	5	20,5	-1,08	0,31	-2,1
SP	mar	1	1	18,9	-0,98	0,09	-3,7
SP	mar	1	2	18,9	-0,70	0,09	-3,7
SP	mar	1	3	19,4	-0,62	0,15	-3,2

SP	mar	1	4	18,9	-1,06	0,09	-3,7
SP	mar	1	5	18,4	-1,10	0,02	-4,2
10	mar	2	1	21,1	-1,18	0,09	-2,1
10	mar	2	2	21,8	-1,06	0,20	-1,4
10	mar	2	3	20,8	-1,00	0,04	-2,4
10	mar	2	4	21,0	-1,10	0,07	-2,2
10	mar	2	5	22,1	-1,23	0,24	-1,1
20	mar	2	1	20,1	-1,24	-0,06	-3,1
20	mar	2	2	20,9	-1,00	0,05	-2,3
20	mar	2	3	20,0	-1,10	-0,08	-3,2
20	mar	2	4	20,9	-1,23	0,05	-2,3
20	mar	2	5	19,9	-1,10	-0,09	-3,3
30	mar	2	1	20,0	-0,96	-0,08	-3,2
30	mar	2	2	20,3	-0,88	-0,04	-2,9
30	mar	2	3	19,8	-0,80	-0,11	-3,4
30	mar	2	4	19,0	-0,80	-0,22	-4,2
30	mar	2	5	21,0	-0,92	0,07	-2,2
40	mar	2	1	20,9	-1,24	0,05	-2,3
40	mar	2	2	21,4	-0,74	0,13	-1,8
40	mar	2	3	20,9	-1,23	0,05	-2,3
40	mar	2	4	20,0	-1,20	-0,08	-3,2
40	mar	2	5	20,0	-1,10	-0,08	-3,2
SP	mar	2	1	20,4	-1,34	-0,02	-2,8
SP	mar	2	2	20,4	-1,20	-0,02	-2,8
SP	mar	2	3	22,0	-1,26	0,23	-1,2
SP	mar	2	4	21,2	-1,20	0,10	-2,0
SP	mar	2	5	20,6	-1,30	0,01	-2,6
10	mar	3	1	19,9	-0,72	0,17	-0,5
10	mar	3	2	19,6	-0,60	0,12	-0,8
10	mar	3	3	18,3	-0,46	-0,05	-2,1
10	mar	3	4	18,9	-0,56	0,03	-1,5
10	mar	3	5	19,3	-0,60	0,08	-1,1
20	mar	3	1	19,3	-0,46	0,08	-1,1
20	mar	3	2	19,0	-0,64	0,04	-1,4
20	mar	3	3	19,1	-0,90	0,05	-1,3
20	mar	3	4	19,7	-0,80	0,14	-0,7
20	mar	3	5	19,2	-0,54	0,07	-1,2
30	mar	3	1	18,3	-1,00	-0,05	-2,1
30	mar	3	2	19,0	-0,76	0,04	-1,4
30	mar	3	3	19,0	-0,62	0,04	-1,4
30	mar	3	4	19,4	-0,68	0,10	-1,0
30	mar	3	5	19,3	-1,02	0,08	-1,1
40	mar	3	1	20,3	-0,80	0,23	-0,1
40	mar	3	2	20,8	-0,60	0,30	0,4

40	mar	3	3	19,8	-0,82	0,15	-0,6
40	mar	3	4	20,5	-0,88	0,26	0,1
40	mar	3	5	19,9	-1,02	0,17	-0,5
SP	mar	3	1	19,4	-1,00	0,10	-1,0
SP	mar	3	2	19,9	-1,20	0,17	-0,5
SP	mar	3	3	19,3	-0,86	0,08	-1,1
SP	mar	3	4	20,1	-0,90	0,20	-0,3
SP	mar	3	5	19,0	-0,94	0,04	-1,4

Apêndice 9. Temperatura e tensão de água em folhas de soja, DPV folha-ar e diferença de temperatura entre a folha e o ar (Delta T), no período da tarde.

Trat.	Mês	Dia	Repetição	Temp folha	Tensão	DPV folha-ar	Delta T
10	dez	1	1	32,8	-1,50	3,80	3,6
10	dez	1	2	32,8	-1,50	3,80	3,6
10	dez	1	3	32,8	-1,40	3,80	3,6
10	dez	1	4	32,8	-1,50	3,80	3,6
10	dez	1	5	32,8	-1,60	3,80	3,6
20	dez	1	1	30,5	-1,30	3,19	1,3
20	dez	1	2	31,6	-1,20	3,48	2,5
20	dez	1	3	32,3	-1,10	3,66	3,1
20	dez	1	4	32,1	-0,90	3,61	2,9
20	dez	1	5	31,6	-1,10	3,48	2,5
30	dez	1	1	31,6	-0,80	3,48	2,4
30	dez	1	2	31,6	-0,80	3,48	2,4
30	dez	1	3	31,6	-1,50	3,48	2,4
30	dez	1	4	31,6	-1,50	3,48	2,4
30	dez	1	5	31,6	-1,40	3,48	2,4
40	dez	1	1	30,8	-1,60	3,27	1,6
40	dez	1	2	30,3	-1,60	3,14	1,1
40	dez	1	3	30,8	-1,60	3,27	1,6
40	dez	1	4	31,3	-1,60	3,40	2,1
40	dez	1	5	30,8	-1,60	3,27	1,6
SP	dez	1	1	32,1	-1,70	3,61	2,9
SP	dez	1	2	32,1	-1,60	3,61	2,9
SP	dez	1	3	32,1	-1,50	3,61	2,9
SP	dez	1	4	32,1	-1,50	3,61	2,9
SP	dez	1	5	32,1	-1,60	3,61	2,9
10	dez	2	1	36,3	-1,40	4,89	1,8
10	dez	2	2	36,4	-1,00	4,92	1,9
10	dez	2	3	37,2	-1,00	5,20	2,7
10	dez	2	4	38,0	-1,60	5,48	3,5
10	dez	2	5	37,0	-1,40	5,12	2,5
20	dez	2	1	30,5	-1,50	3,21	-4,0
20	dez	2	2	33,8	-1,50	4,11	-0,7
20	dez	2	3	32,3	-1,10	3,68	-2,2
20	dez	2	4	32,1	-0,90	3,63	-2,4
20	dez	2	5	33,0	-1,50	3,88	-1,5
30	dez	2	1	31,0	-0,90	3,33	-3,5
30	dez	2	2	33,3	-1,20	3,96	-1,2
30	dez	2	3	32,5	-1,30	3,74	-2,0
30	dez	2	4	30,1	-1,10	3,11	-4,4
30	dez	2	5	34,2	-1,50	4,23	-0,3

40	dez	2	1	36,0	-1,30	4,79	1,5
40	dez	2	2	36,6	-1,30	4,99	2,1
40	dez	2	3	36,1	-1,10	4,84	1,6
40	dez	2	4	35,8	-0,90	4,73	1,3
40	dez	2	5	36,1	-0,90	4,84	1,6
SP	dez	2	1	35,2	-1,70	4,52	0,7
SP	dez	2	2	34,6	-1,50	4,35	0,1
SP	dez	2	3	35,2	-1,70	4,52	0,7
SP	dez	2	4	34,9	-1,20	4,44	0,4
SP	dez	2	5	36,0	-1,50	4,79	1,5
10	dez	3	1	36,4	-1,20	4,88	1,5
10	dez	3	2	36,4	-1,60	4,88	1,5
10	dez	3	3	35,3	-1,30	4,53	0,4
10	dez	3	4	36,8	-1,40	5,02	1,9
10	dez	3	5	37,0	-1,40	5,09	2,1
20	dez	3	1	35,7	-1,10	4,66	0,8
20	dez	3	2	37,6	-1,00	5,30	2,7
20	dez	3	3	34,5	-1,00	4,28	-0,4
20	dez	3	4	35,7	-1,00	4,66	0,8
20	dez	3	5	35,0	-1,00	4,44	0,1
30	dez	3	1	36,4	-1,30	4,89	1,5
30	dez	3	2	36,4	-1,50	4,89	1,5
30	dez	3	3	36,4	-1,10	4,89	1,5
30	dez	3	4	35,8	-0,90	4,69	0,9
30	dez	3	5	37,0	-1,20	5,09	2,1
40	dez	3	1	32,0	-1,60	3,56	-2,9
40	dez	3	2	32,5	-1,40	3,70	-2,4
40	dez	3	3	26,3	-1,50	2,22	-8,6
40	dez	3	4	28,0	-1,50	2,58	-6,9
40	dez	3	5	28,0	-1,50	2,58	-6,9
SP	dez	3	1	36,6	-0,70	4,96	1,7
SP	dez	3	2	36,0	-0,70	4,76	1,1
SP	dez	3	3	35,6	-1,10	4,63	0,7
SP	dez	3	4	36,8	-0,70	5,02	1,9
SP	dez	3	5	35,0	-0,80	4,44	0,1
10	jan	1	1	28,3	-0,80	1,49	-6,1
10	jan	1	2	27,3	-0,80	1,27	-7,1
10	jan	1	3	31,1	-1,26	2,17	-3,3
10	jan	1	4	29,9	-1,00	1,86	-4,5
10	jan	1	5	32,8	-0,94	2,63	-1,6
20	jan	1	1	27,6	-1,02	1,34	-6,8
20	jan	1	2	25,9	-0,60	0,98	-8,5
20	jan	1	3	30,4	-0,80	1,99	-4,0
20	jan	1	4	29,3	-0,80	1,72	-5,1

20	jan	1	5	28,6	-0,68	1,56	-5,8
30	jan	1	1	33,4	-1,08	2,80	-1,0
30	jan	1	2	28,6	-0,52	1,56	-5,8
30	jan	1	3	30,2	-1,48	1,94	-4,2
30	jan	1	4	28,9	-1,24	1,63	-5,5
30	jan	1	5	28,1	-1,10	1,45	-6,3
40	jan	1	1	27,1	-0,60	1,23	-7,3
40	jan	1	2	31,5	-1,02	2,27	-2,9
40	jan	1	3	29,3	-0,48	1,72	-5,1
40	jan	1	4	29,3	-0,82	1,72	-5,1
40	jan	1	5	29,3	-0,52	1,72	-5,1
SP	jan	1	1	27,5	-0,32	1,32	-6,9
SP	jan	1	2	24,1	-0,48	0,64	-10,3
SP	jan	1	3	24,2	-0,68	0,66	-10,2
SP	jan	1	4	23,8	-0,52	0,59	-10,6
SP	jan	1	5	23,8	-0,68	0,59	-10,6
10	jan	2	1	26,3	-1,24	1,82	-3,2
10	jan	2	2	27,3	-1,10	2,03	-2,2
10	jan	2	3	24,8	-1,30	1,53	-4,7
10	jan	2	4	24,0	-1,14	1,38	-5,5
10	jan	2	5	25,8	-1,60	1,72	-3,7
20	jan	2	1	30,6	-1,40	2,80	1,1
20	jan	2	2	32,6	-1,26	3,33	3,1
20	jan	2	3	31,1	-0,80	2,93	1,6
20	jan	2	4	30,1	-0,70	2,67	0,6
20	jan	2	5	31,1	-0,60	2,93	1,6
30	jan	2	1	30,1	-0,70	2,67	0,6
30	jan	2	2	29,4	-0,90	2,50	-0,1
30	jan	2	3	31,2	-1,20	2,95	1,7
30	jan	2	4	30,2	-1,50	2,69	0,7
30	jan	2	5	29,9	-1,60	2,62	0,4
40	jan	2	1	27,2	-0,60	2,01	-2,3
40	jan	2	2	25,1	-1,02	1,59	-4,4
40	jan	2	3	26,0	-1,34	1,76	-3,5
40	jan	2	4	27,2	-0,80	2,01	-2,3
40	jan	2	5	28,4	-1,02	2,27	-1,1
SP	jan	2	1	30,6	-0,50	2,80	1,1
SP	jan	2	2	30,8	-0,68	2,85	1,3
SP	jan	2	3	30,4	-0,40	2,75	0,9
SP	jan	2	4	30,6	-0,48	2,80	1,1
SP	jan	2	5	30,6	-1,20	2,80	1,1
10	jan	3	1	26,3	-1,06	2,14	-0,7
10	jan	3	2	25,2	-0,64	1,92	-1,8
10	jan	3	3	24,8	-0,82	1,84	-2,2

10	jan	3	4	24,0	-1,38	1,70	-3,0
10	jan	3	5	25,8	-1,22	2,04	-1,2
20	jan	3	1	28,6	-1,36	2,63	1,6
20	jan	3	2	27,9	-1,20	2,47	0,9
20	jan	3	3	28,8	-0,96	2,68	1,8
20	jan	3	4	29,8	-1,08	2,91	2,8
20	jan	3	5	28,0	-1,54	2,50	1,0
30	jan	3	1	27,8	-1,50	2,45	0,8
30	jan	3	2	27,8	-1,52	2,45	0,8
30	jan	3	3	28,1	-1,70	2,52	1,1
30	jan	3	4	27,8	-0,84	2,45	0,8
30	jan	3	5	27,5	-0,86	2,39	0,5
40	jan	3	1	29,9	-0,98	2,94	2,9
40	jan	3	2	29,9	-1,02	2,94	2,9
40	jan	3	3	29,9	-1,12	2,94	2,9
40	jan	3	4	29,9	-0,62	2,94	2,9
40	jan	3	5	29,9	-0,28	2,94	2,9
SP	jan	3	1	29,5	-0,79	2,83	2,4
SP	jan	3	2	30,3	-1,08	3,04	3,3
SP	jan	3	3	29,5	-1,78	2,83	2,4
SP	jan	3	4	29,5	-1,66	2,83	2,4
SP	jan	3	5	28,6	-1,54	2,63	1,6
10	jan	4	1	29,8	-0,50	2,72	1,9
10	jan	4	2	30,1	-1,00	2,80	2,2
10	jan	4	3	29,4	-1,32	2,63	1,5
10	jan	4	4	29,9	-0,96	2,75	2,0
10	jan	4	5	29,8	-1,20	2,72	1,9
20	jan	4	1	24,4	-1,22	1,58	-3,5
20	jan	4	2	26,1	-1,00	1,91	-1,8
20	jan	4	3	26,1	-0,70	1,91	-1,8
20	jan	4	4	26,1	-1,28	1,91	-1,8
20	jan	4	5	27,8	-1,50	2,26	-0,1
30	jan	4	1	28,6	-0,96	2,44	0,7
30	jan	4	2	27,8	-0,98	2,26	-0,1
30	jan	4	3	27,2	-0,90	2,13	-0,7
30	jan	4	4	23,7	-0,96	1,45	-4,2
30	jan	4	5	27,5	-0,70	2,20	-0,4
40	jan	4	1	30,3	-1,26	2,85	2,4
40	jan	4	2	30,3	-1,12	2,85	2,4
40	jan	4	3	30,3	-1,08	2,85	2,4
40	jan	4	4	30,3	-0,50	2,85	2,4
40	jan	4	5	30,3	-0,92	2,85	2,4
SP	jan	4	1	30,7	-1,06	2,95	2,8
SP	jan	4	2	31,6	-1,50	3,18	3,7

SP	jan	4	3	31,2	-0,78	3,06	3,3
SP	jan	4	4	31,2	-1,58	3,06	3,3
SP	jan	4	5	31,2	-1,56	3,06	3,3
10	jan	5	1	29,4	-0,92	2,55	-3,6
10	jan	5	2	29,4	-0,98	2,55	-3,6
10	jan	5	3	29,6	-1,08	2,60	-3,4
10	jan	5	4	26,4	-1,02	1,89	-6,6
10	jan	5	5	32,1	-1,34	3,24	-0,9
20	jan	5	1	28,6	-0,92	2,37	-4,4
20	jan	5	2	27,9	-0,84	2,21	-5,1
20	jan	5	3	28,8	-0,86	2,41	-4,2
20	jan	5	4	29,8	-1,10	2,65	-3,2
20	jan	5	5	28,0	-0,58	2,23	-5,0
30	jan	5	1	29,4	-1,40	2,55	-3,6
30	jan	5	2	29,4	-1,00	2,55	-3,6
30	jan	5	3	29,4	-1,50	2,55	-3,6
30	jan	5	4	29,4	-1,04	2,55	-3,6
30	jan	5	5	29,4	-1,10	2,55	-3,6
40	jan	5	1	31,8	-0,70	3,16	-1,2
40	jan	5	2	31,8	-1,44	3,16	-1,2
40	jan	5	3	31,8	-0,92	3,16	-1,2
40	jan	5	4	31,8	-1,50	3,16	-1,2
40	jan	5	5	31,8	-0,68	3,16	-1,2
SP	jan	5	1	32,8	-1,38	3,43	-0,2
SP	jan	5	2	31,3	-1,40	3,03	-1,7
SP	jan	5	3	30,0	-1,38	2,70	-3,0
SP	jan	5	4	31,1	-1,20	2,98	-1,9
SP	jan	5	5	31,3	-1,40	3,03	-1,7
10	fev	1	1	37,3	-0,80	4,07	0,4
10	fev	1	2	37,1	-0,80	4,00	0,2
10	fev	1	3	37,9	-0,70	4,27	1,0
10	fev	1	4	37,1	-1,40	4,00	0,2
10	fev	1	5	40,0	-1,00	5,08	3,1
20	fev	1	1	33,8	-0,90	2,95	-3,1
20	fev	1	2	29,8	-1,10	1,87	-7,1
20	fev	1	3	32,9	-1,10	2,68	-4,1
20	fev	1	4	35,0	-0,80	3,31	-1,9
20	fev	1	5	32,9	-0,90	2,68	-4,1
30	fev	1	1	33,1	-1,40	2,73	-3,9
30	fev	1	2	33,3	-0,60	2,80	-3,6
30	fev	1	3	33,6	-1,10	2,89	-3,3
30	fev	1	4	32,6	-0,90	2,60	-4,3
30	fev	1	5	32,7	-1,20	2,63	-4,2
40	fev	1	1	35,7	-1,20	3,53	-1,2

40	fev	1	2	36,2	-1,12	3,70	-0,7
40	fev	1	3	37,1	-1,55	4,00	0,2
40	fev	1	4	36,5	-1,40	3,80	-0,4
40	fev	1	5	36,4	-1,00	3,76	-0,5
SP	fev	1	1	33,0	-1,00	2,71	-3,9
SP	fev	1	2	30,4	-0,80	2,02	-6,5
SP	fev	1	3	30,0	-1,30	1,92	-6,9
SP	fev	1	4	35,8	-0,90	3,57	-1,1
SP	fev	1	5	33,2	-1,20	2,77	-3,7
10	fev	2	1	33,0	-0,70	2,49	4,7
10	fev	2	2	32,0	-0,80	2,21	3,7
10	fev	2	3	33,8	-0,96	2,72	5,5
10	fev	2	4	34,5	-0,60	2,93	6,2
10	fev	2	5	32,0	-0,60	2,21	3,7
20	fev	2	1	30,3	-0,70	1,77	2,0
20	fev	2	2	30,3	-0,70	1,77	2,0
20	fev	2	3	31,1	-1,35	1,98	2,8
20	fev	2	4	28,4	-1,40	1,32	0,1
20	fev	2	5	31,4	-1,51	2,05	3,1
30	fev	2	1	28,6	-0,90	1,37	0,3
30	fev	2	2	29,5	-1,00	1,58	1,2
30	fev	2	3	32,0	-0,72	2,21	3,7
30	fev	2	4	29,8	-0,60	1,65	1,5
30	fev	2	5	30,0	-0,55	1,69	1,7
40	fev	2	1	22,5	-0,80	0,17	-5,8
40	fev	2	2	23,1	-1,05	0,27	-5,2
40	fev	2	3	23,8	-1,02	0,40	-4,5
40	fev	2	4	23,4	-0,75	0,33	-4,9
40	fev	2	5	23,6	-0,92	0,36	-4,7
SP	fev	2	1	27,0	-1,20	1,01	-1,4
SP	fev	2	2	27,2	-0,95	1,06	-1,1
SP	fev	2	3	27,8	-0,92	1,19	-0,5
SP	fev	2	4	26,5	-1,35	0,91	-1,8
SP	fev	2	5	26,4	-1,32	0,89	-1,9
10	fev	3	1	34,4	-1,00	3,50	-2,5
10	fev	3	2	33,8	-0,95	3,31	-3,1
10	fev	3	3	34,4	-1,20	3,50	-2,5
10	fev	3	4	35,9	-1,40	3,96	-1,0
10	fev	3	5	33,6	-1,00	3,25	-3,3
20	fev	3	1	36,8	-1,08	4,26	-0,1
20	fev	3	2	33,7	-1,35	3,28	-3,2
20	fev	3	3	34,7	-1,50	3,58	-2,2
20	fev	3	4	35,1	-0,92	3,70	-1,8
20	fev	3	5	35,1	-1,50	3,69	-1,8

30	fev	3	1	39,1	-0,90	5,09	2,2
30	fev	3	2	39,6	-0,68	5,27	2,7
30	fev	3	3	40,0	-1,02	5,44	3,1
30	fev	3	4	40,2	-1,22	5,52	3,3
30	fev	3	5	39,0	-0,72	5,05	2,1
40	fev	3	1	30,0	-0,80	2,28	-6,9
40	fev	3	2	31,7	-1,10	2,72	-5,2
40	fev	3	3	33,2	-1,45	3,13	-3,7
40	fev	3	4	36,7	-1,30	4,23	-0,2
40	fev	3	5	33,5	-0,75	3,22	-3,4
SP	fev	3	1	35,5	-1,35	3,83	-1,4
SP	fev	3	2	33,6	-1,40	3,26	-3,3
SP	fev	3	3	33,6	-1,40	3,26	-3,3
SP	fev	3	4	32,6	-1,38	2,96	-4,3
SP	fev	3	5	32,8	-1,20	3,02	-4,1
10	fev	4	1	33,0	-0,96	2,57	5,7
10	fev	4	2	33,5	-1,00	2,71	6,2
10	fev	4	3	34,0	-0,93	2,86	6,7
10	fev	4	4	32,8	-0,80	2,51	5,5
10	fev	4	5	33,0	-0,80	2,57	5,7
20	fev	4	1	24,3	-1,20	0,57	-3,0
20	fev	4	2	26,0	-1,10	0,89	-1,3
20	fev	4	3	25,4	-0,90	0,77	-1,9
20	fev	4	4	24,6	-1,00	0,62	-2,7
20	fev	4	5	26,6	-0,98	1,01	-0,7
30	fev	4	1	26,2	-0,70	0,93	-1,1
30	fev	4	2	26,6	-0,90	1,01	-0,7
30	fev	4	3	25,5	-0,70	0,79	-1,8
30	fev	4	4	25,6	-0,80	0,81	-1,7
30	fev	4	5	24,0	-0,60	0,51	-3,3
40	fev	4	1	26,4	-0,54	0,97	-0,9
40	fev	4	2	24,4	-0,42	0,59	-2,9
40	fev	4	3	24,0	-0,41	0,51	-3,3
40	fev	4	4	26,0	-0,30	0,89	-1,3
40	fev	4	5	24,8	-0,48	0,66	-2,5
SP	fev	4	1	30,7	-1,00	1,95	3,4
SP	fev	4	2	30,1	-1,74	1,80	2,8
SP	fev	4	3	27,7	-0,90	1,25	0,4
SP	fev	4	4	29,3	-1,00	1,61	2,0
SP	fev	4	5	29,5	-1,30	1,65	2,2
10	fev	5	1	27,5	-0,90	2,31	0,0
10	fev	5	2	30,1	-0,98	2,91	2,6
10	fev	5	3	28,8	-0,90	2,60	1,3
10	fev	5	4	28,8	-1,10	2,60	1,3

10	fev	5	5	28,8	-1,50	2,60	1,3
20	fev	5	1	24,5	-1,36	1,72	-3,0
20	fev	5	2	24,5	-1,32	1,72	-3,0
20	fev	5	3	25,0	-1,34	1,81	-2,5
20	fev	5	4	24,0	-1,36	1,62	-3,5
20	fev	5	5	24,5	-1,00	1,72	-3,0
30	fev	5	1	29,5	-0,98	2,77	2,0
30	fev	5	2	29,0	-1,18	2,65	1,5
30	fev	5	3	30,0	-0,88	2,89	2,5
30	fev	5	4	29,5	-1,00	2,77	2,0
30	fev	5	5	29,5	-0,80	2,77	2,0
40	fev	5	1	27,0	-1,42	2,21	-0,5
40	fev	5	2	27,0	-1,30	2,21	-0,5
40	fev	5	3	27,0	-1,52	2,21	-0,5
40	fev	5	4	27,0	-1,50	2,21	-0,5
40	fev	5	5	27,0	-1,40	2,21	-0,5
SP	fev	5	1	27,0	-1,08	2,21	-0,5
SP	fev	5	2	27,2	-1,10	2,25	-0,3
SP	fev	5	3	26,8	-0,80	2,17	-0,7
SP	fev	5	4	27,0	-1,08	2,21	-0,5
SP	fev	5	5	27,0	-0,90	2,21	-0,5
10	mar	1	1	37,3	-2,26	4,73	0,9
10	mar	1	2	39,2	-2,08	5,43	2,8
10	mar	1	3	36,5	-2,20	4,46	0,1
10	mar	1	4	36,2	-2,00	4,36	-0,2
10	mar	1	5	36,4	-2,02	4,42	0,0
20	mar	1	1	31,3	-1,78	2,91	-5,1
20	mar	1	2	31,1	-1,94	2,86	-5,3
20	mar	1	3	30,5	-2,00	2,71	-5,9
20	mar	1	4	31,7	-1,88	3,02	-4,7
20	mar	1	5	35,2	-1,76	4,03	-1,2
30	mar	1	1	37,9	-1,74	4,94	1,5
30	mar	1	2	38,1	-2,20	5,02	1,7
30	mar	1	3	38,3	-2,10	5,09	1,9
30	mar	1	4	38,1	-1,80	5,02	1,7
30	mar	1	5	38,1	-1,88	5,02	1,7
40	mar	1	1	35,3	-2,04	4,08	-1,1
40	mar	1	2	35,2	-1,84	4,03	-1,2
40	mar	1	3	36,5	-1,88	4,46	0,1
40	mar	1	4	35,3	-2,11	4,08	-1,1
40	mar	1	5	34,3	-2,04	3,76	-2,1
SP	mar	1	1	33,0	-1,70	3,37	-3,4
SP	mar	1	2	34,3	-1,96	3,76	-2,1
SP	mar	1	3	29,6	-1,51	2,49	-6,8

SP	mar	1	4	28,0	-1,50	2,12	-8,4
SP	mar	1	5	28,3	-1,80	2,18	-8,1
10	mar	2	1	28,0	-1,56	2,94	3,6
10	mar	2	2	27,4	-1,40	2,81	3,0
10	mar	2	3	26,6	-1,80	2,64	2,2
10	mar	2	4	27,5	-1,80	2,83	3,1
10	mar	2	5	25,8	-1,68	2,48	1,4
20	mar	2	1	26,8	-1,64	2,68	2,4
20	mar	2	2	25,7	-1,72	2,46	1,3
20	mar	2	3	26,8	-1,68	2,68	2,4
20	mar	2	4	25,1	-1,62	2,34	0,7
20	mar	2	5	26,1	-1,50	2,54	1,7
30	mar	2	1	25,6	-1,50	2,44	1,2
30	mar	2	2	25,2	-1,34	2,36	0,8
30	mar	2	3	25,6	-1,50	2,44	1,2
30	mar	2	4	25,6	-1,58	2,44	1,2
30	mar	2	5	26,0	-1,44	2,52	1,6
40	mar	2	1	21,8	-1,20	1,76	-2,6
40	mar	2	2	21,8	-0,90	1,76	-2,6
40	mar	2	3	22,4	-1,10	1,86	-2,0
40	mar	2	4	21,7	-1,20	1,75	-2,7
40	mar	2	5	22,7	-1,40	1,91	-1,7
SP	mar	2	1	23,4	-1,50	2,03	-1,0
SP	mar	2	2	24,3	-1,20	2,19	-0,1
SP	mar	2	3	24,7	-1,00	2,26	0,3
SP	mar	2	4	23,0	-1,22	1,96	-1,4
SP	mar	2	5	23,0	-1,62	1,96	-1,4
10	mar	3	1	27,0	-1,74	2,64	3,5
10	mar	3	2	27,5	-1,84	2,74	4,0
10	mar	3	3	27,5	-1,72	2,74	4,0
10	mar	3	4	26,5	-1,84	2,53	3,0
10	mar	3	5	28,0	-1,82	2,85	4,5
20	mar	3	1	26,8	-1,42	2,59	3,3
20	mar	3	2	26,8	-1,54	2,59	3,3
20	mar	3	3	26,8	-1,60	2,59	3,3
20	mar	3	4	26,8	-1,50	2,59	3,3
20	mar	3	5	26,8	-1,48	2,59	3,3
30	mar	3	1	26,1	-1,20	2,45	2,6
30	mar	3	2	25,5	-1,42	2,32	2,0
30	mar	3	3	23,5	-1,64	1,96	0,0
30	mar	3	4	26,6	-1,50	2,55	3,1
30	mar	3	5	25,6	-1,44	2,35	2,1
40	mar	3	1	23,4	-1,90	1,94	-0,1
40	mar	3	2	22,9	-1,70	1,86	-0,6

40	mar	3	3	23,9	-2,10	2,03	0,4
40	mar	3	4	23,7	-2,10	2,00	0,2
40	mar	3	5	23,1	-1,80	1,89	-0,4
SP	mar	3	1	25,8	-1,50	2,39	2,3
SP	mar	3	2	25,6	-1,52	2,35	2,1
SP	mar	3	3	26,7	-1,60	2,57	3,2
SP	mar	3	4	26,0	-1,70	2,44	2,5
SP	mar	3	5	26,0	-1,60	2,44	2,5

Apêndice 10. Temperatura e tensão de água em folhas de aveia, no período da manhã.

Tratamento	Mês	Dia	Repetição	Temperatura	Tensão
10	mai	1	1	13,4	-0,90
10	mai	1	2	13,0	-0,90
10	mai	1	3	13,3	-0,85
10	mai	1	4	14,4	-0,91
20	mai	1	1	11,3	-0,58
20	mai	1	2	13,0	-0,66
20	mai	1	3	14,0	-0,62
20	mai	1	4	10,4	-0,57
30	mai	1	1	11,6	-0,60
30	mai	1	2	13,1	-0,50
30	mai	1	3	13,2	-0,50
30	mai	1	4	12,2	-0,58
40	mai	1	1	11,5	-0,52
40	mai	1	2	11,7	-0,55
40	mai	1	3	12,3	-0,60
40	mai	1	4	11,4	-0,53
SP	mai	1	1	12,0	-0,50
SP	mai	1	2	14,4	-0,54
SP	mai	1	3	14,1	-0,68
SP	mai	1	4	13,0	-0,50
10	mai	2	1	19,9	-0,60
10	mai	2	2	18,3	-0,66
10	mai	2	3	18,9	-0,56
10	mai	2	4	19,9	-0,70
20	mai	2	1	17,6	-0,34
20	mai	2	2	17,9	-0,40
20	mai	2	3	17,4	-0,30
20	mai	2	4	17,0	-0,35
30	mai	2	1	17,4	-0,42
30	mai	2	2	17,6	-0,30
30	mai	2	3	17,8	-0,32
30	mai	2	4	16,9	-0,36
40	mai	2	1	16,0	-0,50
40	mai	2	2	17,0	-0,60
40	mai	2	3	17,0	-0,50
40	mai	2	4	18,3	-0,55
SP	mai	2	1	16,9	-0,44
SP	mai	2	2	16,9	-0,30
SP	mai	2	3	17,5	-0,30
SP	mai	2	4	17,3	-0,32

10	mai	3	1	19,8	-0,80
10	mai	3	2	20,3	-0,70
10	mai	3	3	18,4	-0,72
10	mai	3	4	22,2	-0,74
20	mai	3	1	18,8	-0,30
20	mai	3	2	17,8	-0,51
20	mai	3	3	18,9	-0,52
20	mai	3	4	18,8	-0,40
30	mai	3	1	18,8	-0,32
30	mai	3	2	18,9	-0,51
30	mai	3	3	19,2	-0,42
30	mai	3	4	18,0	-0,38
40	mai	3	1	19,4	-0,38
40	mai	3	2	18,9	-0,34
40	mai	3	3	18,5	-0,38
40	mai	3	4	18,0	-0,33
SP	mai	3	1	19,1	-0,30
SP	mai	3	2	18,9	-0,30
SP	mai	3	3	18,1	-0,33
SP	mai	3	4	17,7	-0,41
10	jun	1	1	13,6	-0,80
10	jun	1	2	15,0	-0,80
10	jun	1	3	15,2	-0,75
10	jun	1	4	14,9	-0,85
20	jun	1	1	13,0	-0,48
20	jun	1	2	12,0	-0,60
20	jun	1	3	13,7	-0,60
20	jun	1	4	11,8	-0,54
30	jun	1	1	12,0	-0,60
30	jun	1	2	12,7	-0,40
30	jun	1	3	13,3	-0,40
30	jun	1	4	12,0	-0,45
40	jun	1	1	12,5	-0,50
40	jun	1	2	11,0	-0,54
40	jun	1	3	12,2	-0,57
40	jun	1	4	13,1	-0,55
SP	jun	1	1	11,5	-0,48
SP	jun	1	2	12,0	-0,52
SP	jun	1	3	12,0	-0,66
SP	jun	1	4	12,7	-0,45
10	jun	2	1	16,7	-0,87
10	jun	2	2	17,7	-0,78
10	jun	2	3	18,9	-0,88
10	jun	2	4	19,4	-0,73

20	jun	2	1	17,3	-0,30
20	jun	2	2	17,5	-0,39
20	jun	2	3	17,2	-0,28
20	jun	2	4	17,0	-0,39
30	jun	2	1	17,0	-0,40
30	jun	2	2	17,5	-0,42
30	jun	2	3	17,4	-0,32
30	jun	2	4	16,3	-0,38
40	jun	2	1	15,2	-0,47
40	jun	2	2	16,2	-0,60
40	jun	2	3	16,1	-0,48
40	jun	2	4	14,7	-0,55
SP	jun	2	1	16,7	-0,30
SP	jun	2	2	16,8	-0,32
SP	jun	2	3	17,0	-0,31
SP	jun	2	4	16,2	-0,30
10	jun	3	1	22,1	-0,77
10	jun	3	2	21,1	-0,69
10	jun	3	3	18,4	-0,70
10	jun	3	4	23,1	-0,80
20	jun	3	1	19,0	-0,28
20	jun	3	2	19,1	-0,50
20	jun	3	3	18,5	-0,50
20	jun	3	4	18,8	-0,45
30	jun	3	1	18,5	-0,30
30	jun	3	2	18,7	-0,50
30	jun	3	3	19,0	-0,40
30	jun	3	4	19,3	-0,35
40	jun	3	1	19,0	-0,20
40	jun	3	2	18,5	-0,33
40	jun	3	3	18,0	-0,37
40	jun	3	4	18,2	-0,29
SP	jun	3	1	19,0	-0,30
SP	jun	3	2	18,6	-0,40
SP	jun	3	3	18,7	-0,33
SP	jun	3	4	18,5	-0,37
10	jun	4	1	13,8	-0,40
10	jun	4	2	14,4	-0,46
10	jun	4	3	15,0	-0,51
10	jun	4	4	14,0	-0,60
20	jun	4	1	14,0	-0,59
20	jun	4	2	13,7	-0,45
20	jun	4	3	14,2	-0,60
20	jun	4	4	13,6	-0,70

30	jun	4	1	15,0	-0,52
30	jun	4	2	14,1	-0,46
30	jun	4	3	14,0	-0,43
30	jun	4	4	14,3	-0,47
40	jun	4	1	13,4	-0,65
40	jun	4	2	13,8	-0,40
40	jun	4	3	14,0	-0,38
40	jun	4	4	13,6	-0,50
SP	jun	4	1	14,0	-0,40
SP	jun	4	2	13,0	-0,39
SP	jun	4	3	13,9	-0,23
SP	jun	4	4	13,6	-0,26
10	jul	1	1	13,9	-0,40
10	jul	1	2	14,8	-0,48
10	jul	1	3	15,1	-0,52
10	jul	1	4	14,2	-0,62
20	jul	1	1	13,9	-0,58
20	jul	1	2	13,8	-0,42
20	jul	1	3	14,4	-0,64
20	jul	1	4	13,8	-0,72
30	jul	1	1	14,9	-0,52
30	jul	1	2	13,8	-0,48
30	jul	1	3	14,1	-0,44
30	jul	1	4	14,4	-0,48
40	jul	1	1	14,4	-0,64
40	jul	1	2	14,3	-0,42
40	jul	1	3	14,2	-0,34
40	jul	1	4	13,4	-0,52
SP	jul	1	1	14,1	-0,38
SP	jul	1	2	13,1	-0,36
SP	jul	1	3	13,8	-0,20
SP	jul	1	4	13,6	-0,25
10	jul	2	1	15,0	-0,48
10	jul	2	2	15,9	-0,54
10	jul	2	3	14,9	-0,50
10	jul	2	4	13,8	-0,52
20	jul	2	1	14,6	-0,50
20	jul	2	2	13,8	-0,50
20	jul	2	3	14,8	-0,42
20	jul	2	4	13,8	-0,50
30	jul	2	1	14,6	-0,48
30	jul	2	2	14,3	-0,50
30	jul	2	3	14,7	-0,46
30	jul	2	4	14,9	-0,49

40	jul	2	1	13,8	-0,40
40	jul	2	2	12,7	-0,48
40	jul	2	3	12,8	-0,72
40	jul	2	4	13,4	-0,60
SP	jul	2	1	13,8	-0,42
SP	jul	2	2	12,9	-0,52
SP	jul	2	3	14,3	-0,50
SP	jul	2	4	14,0	-0,50
10	ago	1	1	12,0	-0,50
10	ago	1	2	11,0	-0,48
10	ago	1	3	10,6	-0,40
10	ago	1	4	11,9	-0,52
20	ago	1	1	8,4	-0,50
20	ago	1	2	7,9	-0,30
20	ago	1	3	7,4	-0,42
20	ago	1	4	7,1	-0,34
30	ago	1	1	8,7	-0,43
30	ago	1	2	8,1	-0,32
30	ago	1	3	9,3	-0,46
30	ago	1	4	8,0	-0,36
40	ago	1	1	9,1	-0,52
40	ago	1	2	9,8	-0,48
40	ago	1	3	9,4	-0,72
40	ago	1	4	9,0	-0,60
SP	ago	1	1	9,0	-0,42
SP	ago	1	2	6,7	-0,30
SP	ago	1	3	8,0	-0,32
SP	ago	1	4	8,8	-0,30
10	ago	2	1	12,0	-0,75
10	ago	2	2	10,6	-0,68
10	ago	2	3	10,5	-0,55
10	ago	2	4	13,0	-0,58
20	ago	2	1	7,6	-0,41
20	ago	2	2	7,8	-0,33
20	ago	2	3	9,4	-0,42
20	ago	2	4	9,3	-0,34
30	ago	2	1	11,0	-0,44
30	ago	2	2	9,6	-0,37
30	ago	2	3	11,1	-0,40
30	ago	2	4	9,2	-0,36
40	ago	2	1	7,3	-0,66
40	ago	2	2	4,5	-0,58
40	ago	2	3	6,3	-0,72
40	ago	2	4	7,4	-0,60

SP	ago	2	1	8,0	-0,40
SP	ago	2	2	5,8	-0,37
SP	ago	2	3	7,6	-0,31
SP	ago	2	4	6,0	-0,35
10	ago	3	1	12,9	-0,78
10	ago	3	2	13,3	-0,77
10	ago	3	3	13,9	-0,70
10	ago	3	4	12,1	-0,69
20	ago	3	1	10,1	-0,40
20	ago	3	2	12,0	-0,30
20	ago	3	3	11,8	-0,41
20	ago	3	4	11,2	-0,28
30	ago	3	1	11,2	-0,40
30	ago	3	2	10,3	-0,33
30	ago	3	3	10,3	-0,36
30	ago	3	4	11,6	-0,30
40	ago	3	1	10,0	-0,50
40	ago	3	2	11,2	-0,55
40	ago	3	3	8,7	-0,60
40	ago	3	4	7,7	-0,49
SP	ago	3	1	10,5	-0,37
SP	ago	3	2	12,1	-0,46
SP	ago	3	3	10,9	-0,27
SP	ago	3	4	11,4	-0,38
10	ago	4	1	10,1	-0,66
10	ago	4	2	10,8	-0,54
10	ago	4	3	11,1	-0,49
10	ago	4	4	10,6	-0,52
20	ago	4	1	6,7	-0,36
20	ago	4	2	6,6	-0,45
20	ago	4	3	7,8	-0,40
20	ago	4	4	8,2	-0,38
30	ago	4	1	6,8	-0,34
30	ago	4	2	7,0	-0,38
30	ago	4	3	6,3	-0,44
30	ago	4	4	7,8	-0,52
40	ago	4	1	9,1	-0,32
40	ago	4	2	8,3	-0,43
40	ago	4	3	8,5	-0,36
40	ago	4	4	9,0	-0,31
SP	ago	4	1	8,6	-0,42
SP	ago	4	2	7,1	-0,41
SP	ago	4	3	7,1	-0,36
SP	ago	4	4	9,0	-0,30

10	set	1	1	11,9	-0,69
10	set	1	2	12,2	-0,56
10	set	1	3	11,0	-0,55
10	set	1	4	13,3	-0,59
20	set	1	1	8,2	-0,38
20	set	1	2	8,3	-0,40
20	set	1	3	7,8	-0,41
20	set	1	4	7,7	-0,32
30	set	1	1	10,6	-0,33
30	set	1	2	9,9	-0,36
30	set	1	3	9,8	-0,32
30	set	1	4	9,1	-0,40
40	set	1	1	6,8	-0,44
40	set	1	2	7,0	-0,39
40	set	1	3	8,5	-0,43
40	set	1	4	7,6	-0,38
SP	set	1	1	6,9	-0,41
SP	set	1	2	5,8	-0,36
SP	set	1	3	7,2	-0,34
SP	set	1	4	6,2	-0,34
10	set	2	1	10,9	-0,79
10	set	2	2	10,2	-0,87
10	set	2	3	11,1	-0,67
10	set	2	4	9,4	-0,78
20	set	2	1	8,2	-0,49
20	set	2	2	8,0	-0,59
20	set	2	3	7,7	-0,46
20	set	2	4	8,4	-0,52
30	set	2	1	10,1	-0,54
30	set	2	2	9,3	-0,50
30	set	2	3	9,4	-0,50
30	set	2	4	9,0	-0,48
40	set	2	1	6,0	-0,65
40	set	2	2	7,5	-0,59
40	set	2	3	9,0	-0,60
40	set	2	4	8,8	-0,54
SP	set	2	1	7,3	-0,54
SP	set	2	2	7,8	-0,44
SP	set	2	3	6,6	-0,60
SP	set	2	4	6,9	-0,55
10	out	1	1	12,3	-0,89
10	out	1	2	13,3	-0,87
10	out	1	3	14,2	-0,89
10	out	1	4	12,8	-0,90

20	out	1	1	10,4	-0,85
20	out	1	2	9,9	-0,87
20	out	1	3	10,4	-0,82
20	out	1	4	10,8	-0,77
30	out	1	1	10,8	-0,85
30	out	1	2	10,2	-0,78
30	out	1	3	10,6	-0,77
30	out	1	4	10,9	-0,69
40	out	1	1	11,1	-0,86
40	out	1	2	11,5	-0,91
40	out	1	3	10,5	-0,80
40	out	1	4	11,2	-0,93
SP	out	1	1	11,4	-0,78
SP	out	1	2	10,7	-0,69
SP	out	1	3	9,9	-0,72
SP	out	1	4	10,0	-0,71
10	out	2	1	14,0	-0,90
10	out	2	2	11,9	-1,10
10	out	2	3	13,9	-0,89
10	out	2	4	13,5	-0,97
20	out	2	1	11,0	-0,81
20	out	2	2	11,1	-0,69
20	out	2	3	11,9	-0,72
20	out	2	4	10,0	-0,72
30	out	2	1	11,1	-0,82
30	out	2	2	10,2	-0,77
30	out	2	3	9,9	-0,70
30	out	2	4	10,5	-0,72
40	out	2	1	12,2	-0,77
40	out	2	2	11,6	-0,78
40	out	2	3	10,9	-0,64
40	out	2	4	12,2	-0,60
SP	out	2	1	9,9	-0,76
SP	out	2	2	9,6	-0,66
SP	out	2	3	10,0	-0,69
SP	out	2	4	10,9	-0,70

Apêndice 11. Temperatura e tensão de água em folhas de aveia, no período da tarde.

Tratamento	Mês	Dia	Repetição	Temperatura	Tensão
10	mai	1	1	26,3	-1,74
10	mai	1	2	23,8	-2,02
10	mai	1	3	21,7	-1,76
10	mai	1	4	25,6	-1,80
20	mai	1	1	22,7	-1,60
20	mai	1	2	22,6	-1,50
20	mai	1	3	21,5	-1,54
20	mai	1	4	22,2	-1,57
30	mai	1	1	20,4	-1,70
30	mai	1	2	21,6	-1,40
30	mai	1	3	21,6	-1,50
30	mai	1	4	20,1	-1,55
40	mai	1	1	22,3	-1,46
40	mai	1	2	21,9	-1,64
40	mai	1	3	22,9	-1,40
40	mai	1	4	20,2	-1,42
SP	mai	1	1	21,4	-1,78
SP	mai	1	2	20,4	-1,66
SP	mai	1	3	21,5	-1,60
SP	mai	1	4	19,1	-1,56
10	mai	2	1	25,8	-1,88
10	mai	2	2	24,8	-2,10
10	mai	2	3	23,5	-2,12
10	mai	2	4	26,8	-2,00
20	mai	2	1	24,2	-1,60
20	mai	2	2	23,5	-1,62
20	mai	2	3	24,4	-1,53
20	mai	2	4	24,0	-1,52
30	mai	2	1	22,6	-1,70
30	mai	2	2	22,2	-1,44
30	mai	2	3	25,0	-1,54
30	mai	2	4	24,2	-1,57
40	mai	2	1	24,3	-1,44
40	mai	2	2	23,3	-1,55
40	mai	2	3	23,2	-1,68
40	mai	2	4	23,3	-1,50
SP	mai	2	1	22,1	-1,60
SP	mai	2	2	22,3	-1,33
SP	mai	2	3	21,8	-1,43
SP	mai	2	4	21,9	-1,45
10	mai	3	1	24,0	-1,80

10	mai	3	2	27,0	-1,70
10	mai	3	3	26,2	-2,00
10	mai	3	4	26,0	-1,85
20	mai	3	1	23,5	-1,66
20	mai	3	2	24,0	-1,54
20	mai	3	3	24,1	-1,44
20	mai	3	4	23,3	-1,50
30	mai	3	1	23,5	-1,60
30	mai	3	2	25,1	-1,40
30	mai	3	3	25,4	-1,60
30	mai	3	4	23,1	-1,50
40	mai	3	1	24,5	-1,50
40	mai	3	2	23,6	-1,00
40	mai	3	3	23,6	-1,44
40	mai	3	4	23,6	-1,34
SP	mai	3	1	24,1	-1,20
SP	mai	3	2	22,1	-1,43
SP	mai	3	3	22,0	-1,45
SP	mai	3	4	24,9	-1,52
10	jun	1	1	26,5	-1,73
10	jun	1	2	24,0	-2,00
10	jun	1	3	25,3	-1,75
10	jun	1	4	24,8	-1,82
20	jun	1	1	22,6	-1,66
20	jun	1	2	22,3	-1,47
20	jun	1	3	21,1	-1,53
20	jun	1	4	21,0	-1,42
30	jun	1	1	20,5	-1,60
30	jun	1	2	21,4	-1,35
30	jun	1	3	21,3	-1,45
30	jun	1	4	21,2	-1,34
40	jun	1	1	22,2	-1,44
40	jun	1	2	21,7	-1,63
40	jun	1	3	22,7	-1,55
40	jun	1	4	20,9	-1,44
SP	jun	1	1	21,3	-1,43
SP	jun	1	2	20,0	-1,44
SP	jun	1	3	21,0	-1,35
SP	jun	1	4	19,9	-1,55
10	jun	2	1	25,3	-1,86
10	jun	2	2	25,9	-2,00
10	jun	2	3	23,3	-2,10
10	jun	2	4	26,0	-1,90
20	jun	2	1	24,0	-1,55

20	jun	2	2	23,3	-1,73
20	jun	2	3	24,2	-1,70
20	jun	2	4	22,8	-1,63
30	jun	2	1	23,3	-1,60
30	jun	2	2	22,1	-1,43
30	jun	2	3	22,5	-1,50
30	jun	2	4	23,3	-1,55
40	jun	2	1	24,2	-1,40
40	jun	2	2	23,0	-1,78
40	jun	2	3	23,1	-1,66
40	jun	2	4	23,1	-1,79
SP	jun	2	1	22,0	-1,70
SP	jun	2	2	22,1	-1,58
SP	jun	2	3	21,5	-1,68
SP	jun	2	4	21,9	-1,51
10	jun	3	1	26,0	-1,59
10	jun	3	2	24,0	-1,69
10	jun	3	3	25,0	-1,90
10	jun	3	4	27,2	-2,00
20	jun	3	1	23,4	-1,53
20	jun	3	2	23,6	-1,52
20	jun	3	3	24,0	-0,99
20	jun	3	4	24,3	-1,44
30	jun	3	1	23,4	-1,58
30	jun	3	2	25,0	-1,39
30	jun	3	3	25,2	-1,58
30	jun	3	4	24,2	-1,48
40	jun	3	1	24,6	-1,48
40	jun	3	2	23,5	-0,99
40	jun	3	3	23,4	-1,53
40	jun	3	4	23,3	-1,26
SP	jun	3	1	25,6	-1,18
SP	jun	3	2	25,3	-1,45
SP	jun	3	3	24,0	-1,50
SP	jun	3	4	23,9	-1,35
10	jun	4	1	19,8	-1,44
10	jun	4	2	20,9	-1,04
10	jun	4	3	18,9	-1,42
10	jun	4	4	18,9	-1,36
20	jun	4	1	23,1	-1,50
20	jun	4	2	20,8	-1,54
20	jun	4	3	20,6	-1,48
20	jun	4	4	21,0	-1,42
30	jun	4	1	20,0	-1,48

30	jun	4	2	23,7	-1,72
30	jun	4	3	22,4	-1,62
30	jun	4	4	23,8	-1,32
40	jun	4	1	23,3	-1,40
40	jun	4	2	20,3	-1,02
40	jun	4	3	20,4	-1,38
40	jun	4	4	20,6	-0,82
SP	jun	4	1	23,4	-1,90
SP	jun	4	2	22,1	-1,70
SP	jun	4	3	22,4	-1,68
SP	jun	4	4	22,0	-1,60
10	jul	1	1	25,1	-1,28
10	jul	1	2	23,8	-1,94
10	jul	1	3	24,4	-1,52
10	jul	1	4	24,2	-1,80
20	jul	1	1	26,4	-1,24
20	jul	1	2	24,3	-1,72
20	jul	1	3	24,1	-1,88
20	jul	1	4	21,4	-1,96
30	jul	1	1	22,9	-1,84
30	jul	1	2	25,3	-1,76
30	jul	1	3	20,4	-1,46
30	jul	1	4	21,3	-1,00
40	jul	1	1	19,9	-1,48
40	jul	1	2	21,6	-1,62
40	jul	1	3	21,8	-1,50
40	jul	1	4	23,6	-1,72
SP	jul	1	1	21,8	-1,52
SP	jul	1	2	23,7	-1,84
SP	jul	1	3	25,2	-1,34
SP	jul	1	4	25,0	-1,30
10	jul	2	1	28,9	-1,42
10	jul	2	2	25,3	-1,52
10	jul	2	3	28,0	-1,64
10	jul	2	4	24,6	-1,42
20	jul	2	1	24,7	-1,50
20	jul	2	2	24,8	-1,42
20	jul	2	3	25,0	-1,44
20	jul	2	4	25,5	-1,48
30	jul	2	1	26,4	-1,46
30	jul	2	2	23,9	-1,44
30	jul	2	3	25,5	-1,40
30	jul	2	4	26,3	-1,48
40	jul	2	1	27,4	-1,54

40	jul	2	2	28,6	-1,48
40	jul	2	3	26,8	-1,52
40	jul	2	4	23,7	-1,50
SP	jul	2	1	26,3	-1,42
SP	jul	2	2	26,4	-1,38
SP	jul	2	3	23,8	-1,44
SP	jul	2	4	22,9	-1,42
10	ago	1	1	28,3	-1,16
10	ago	1	2	27,7	-0,84
10	ago	1	3	29,0	-1,24
10	ago	1	4	27,9	-1,12
20	ago	1	1	24,7	-0,98
20	ago	1	2	24,8	-1,00
20	ago	1	3	25,0	-0,90
20	ago	1	4	25,5	-1,32
30	ago	1	1	26,4	-1,22
30	ago	1	2	23,9	-0,86
30	ago	1	3	25,5	-0,62
30	ago	1	4	26,3	-0,82
40	ago	1	1	28,6	-1,50
40	ago	1	2	25,5	-1,38
40	ago	1	3	26,8	-1,20
40	ago	1	4	25,7	-1,32
SP	ago	1	1	24,8	-0,72
SP	ago	1	2	23,5	-0,98
SP	ago	1	3	22,3	-0,66
SP	ago	1	4	21,0	-0,80
10	ago	2	1	26,5	-1,73
10	ago	2	2	25,5	-1,66
10	ago	2	3	27,0	-1,43
10	ago	2	4	24,6	-1,55
20	ago	2	1	23,4	-1,44
20	ago	2	2	23,3	-1,32
20	ago	2	3	21,0	-1,31
20	ago	2	4	23,9	-1,40
30	ago	2	1	24,0	-1,32
30	ago	2	2	23,9	-1,29
30	ago	2	3	25,1	-1,38
30	ago	2	4	22,1	-1,40
40	ago	2	1	22,2	-1,44
40	ago	2	2	23,0	-1,45
40	ago	2	3	21,4	-1,47
40	ago	2	4	22,5	-1,56
SP	ago	2	1	19,0	-1,22

SP	ago	2	2	19,7	-1,20
SP	ago	2	3	20,4	-1,29
SP	ago	2	4	20,1	-1,38
10	ago	3	1	21,0	-2,20
10	ago	3	2	22,0	-2,25
10	ago	3	3	18,8	-2,35
10	ago	3	4	20,9	-2,30
20	ago	3	1	18,8	-2,02
20	ago	3	2	18,9	-2,14
20	ago	3	3	20,9	-2,10
20	ago	3	4	21,0	-1,99
30	ago	3	1	16,7	-2,30
30	ago	3	2	26,0	-2,20
30	ago	3	3	17,7	-1,75
30	ago	3	4	17,8	-1,88
40	ago	3	1	19,6	-1,66
40	ago	3	2	21,0	-1,90
40	ago	3	3	17,1	-1,85
40	ago	3	4	17,7	-2,10
SP	ago	3	1	19,0	-1,70
SP	ago	3	2	17,4	-2,45
SP	ago	3	3	17,7	-2,11
SP	ago	3	4	15,4	-2,08
10	ago	4	1	23,4	-2,10
10	ago	4	2	24,3	-1,93
10	ago	4	3	22,9	-1,99
10	ago	4	4	25,0	-2,00
20	ago	4	1	23,2	-1,77
20	ago	4	2	22,3	-1,59
20	ago	4	3	21,0	-1,88
20	ago	4	4	20,9	-1,80
30	ago	4	1	21,4	-1,83
30	ago	4	2	20,9	-1,65
30	ago	4	3	21,1	-1,69
30	ago	4	4	22,1	-1,73
40	ago	4	1	21,1	-1,85
40	ago	4	2	20,9	-1,66
40	ago	4	3	20,3	-1,70
40	ago	4	4	19,1	-1,75
SP	ago	4	1	19,0	-1,70
SP	ago	4	2	20,4	-1,72
SP	ago	4	3	19,9	-1,55
SP	ago	4	4	20,1	-1,94
10	set	1	1	25,7	-2,04

10	set	1	2	26,9	-2,06
10	set	1	3	28,5	-1,97
10	set	1	4	27,4	-2,15
20	set	1	1	23,5	-1,75
20	set	1	2	21,9	-1,68
20	set	1	3	20,9	-1,79
20	set	1	4	23,4	-1,81
30	set	1	1	23,6	-1,83
30	set	1	2	23,3	-1,68
30	set	1	3	22,7	-1,73
30	set	1	4	22,1	-1,74
40	set	1	1	21,9	-1,80
40	set	1	2	22,8	-1,76
40	set	1	3	22,2	-1,72
40	set	1	4	23,1	-1,71
SP	set	1	1	19,8	-1,72
SP	set	1	2	19,4	-1,74
SP	set	1	3	20,1	-1,65
SP	set	1	4	19,8	-1,80
10	set	2	1	24,5	-1,85
10	set	2	2	24,6	-1,79
10	set	2	3	25,6	-1,83
10	set	2	4	27,0	-1,81
20	set	2	1	21,5	-1,48
20	set	2	2	22,9	-1,44
20	set	2	3	22,6	-1,67
20	set	2	4	23,3	-1,50
30	set	2	1	23,3	-1,66
30	set	2	2	23,7	-1,52
30	set	2	3	22,1	-1,55
30	set	2	4	21,9	-1,49
40	set	2	1	20,1	-1,65
40	set	2	2	23,3	-1,62
40	set	2	3	22,6	-1,58
40	set	2	4	22,0	-1,49
SP	set	2	1	19,3	-1,45
SP	set	2	2	23,1	-1,65
SP	set	2	3	18,6	-1,52
SP	set	2	4	18,9	-1,49
10	out	1	1	23,6	-2,20
10	out	1	2	24,0	-2,21
10	out	1	3	23,5	-1,98
10	out	1	4	22,8	-1,99
20	out	1	1	18,6	-1,89

20	out	1	2	21,1	-1,85
20	out	1	3	19,9	-1,98
20	out	1	4	18,9	-1,76
30	out	1	1	22,0	-1,80
30	out	1	2	20,8	-1,92
30	out	1	3	21,0	-1,76
30	out	1	4	20,3	-1,69
40	out	1	1	20,2	-1,77
40	out	1	2	21,0	-1,55
40	out	1	3	21,2	-1,64
40	out	1	4	20,2	-1,64
SP	out	1	1	19,9	-1,67
SP	out	1	2	19,8	-1,98
SP	out	1	3	18,7	-1,87
SP	out	1	4	19,4	-1,78
10	out	2	1	32,0	-1,89
10	out	2	2	31,2	-1,90
10	out	2	3	31,6	-2,00
10	out	2	4	30,9	-1,77
20	out	2	1	26,5	-1,45
20	out	2	2	27,7	-1,67
20	out	2	3	28,8	-1,54
20	out	2	4	28,0	-1,43
30	out	2	1	26,5	-1,66
30	out	2	2	26,7	-1,54
30	out	2	3	28,0	-1,43
30	out	2	4	31,0	-1,34
40	out	2	1	30,0	-1,50
40	out	2	2	26,0	-1,54
40	out	2	3	28,2	-1,60
40	out	2	4	28,5	-1,51
SP	out	2	1	25,5	-1,35
SP	out	2	2	26,5	-1,44
SP	out	2	3	26,3	-1,45
SP	out	2	4	26,8	-1,50

Apêndice 12. Umidade do solo no ciclo da cultura da soja, em integração soja-bovinos de corte.

Trat.	Camada	Semeadura	Dez	Jan	Fev	Mar	Colheita
	--- cm ---	----- m ³ m ⁻³ -----					
10	0 - 5	0,16	0,22	0,16	0,28	0,22	0,20
	5 - 10	0,25	0,27	0,20	0,26	0,22	0,22
	10 - 20	0,32	0,33	0,23	0,26	0,35	0,34
	20 - 30	0,30	0,33	0,25	0,26	0,33	0,32
	30 - 50	0,34	0,34	0,26	0,27	0,35	0,33
20	0 - 5	0,25	0,17	0,21	0,30	0,25	0,25
	5 - 10	0,24	0,21	0,24	0,25	0,28	0,28
	10 - 20	0,30	0,28	0,26	0,28	0,32	0,32
	20 - 30	0,33	0,30	0,26	0,28	0,33	0,33
	30 - 50	0,32	0,32	0,27	0,29	0,34	0,34
30	0 - 5	0,26	0,28	0,24	0,35	0,28	0,28
	5 - 10	0,28	0,29	0,25	0,29	0,29	0,29
	10 - 20	0,30	0,34	0,28	0,28	0,35	0,35
	20 - 30	0,33	0,33	0,27	0,30	0,34	0,35
	30 - 50	0,33	0,33	0,27	0,29	0,35	0,35
40	0 - 5	0,21	0,22	0,24	0,31	0,27	0,29
	5 - 10	0,24	0,23	0,22	0,24	0,27	0,28
	10 - 20	0,28	0,30	0,25	0,27	0,31	0,31
	20 - 30	0,31	0,31	0,28	0,27	0,32	0,32
	30 - 50	0,32	0,32	0,26	0,27	0,33	0,33
SP	0 - 5	0,24	0,26	0,27	0,30	0,30	0,30
	5 - 10	0,30	0,32	0,31	0,32	0,34	0,34
	10 - 20	0,34	0,34	0,32	0,34	0,31	0,31
	20 - 30	0,40	0,40	0,32	0,38	0,33	0,33
	30 - 50	0,38	0,38	0,31	0,32	0,36	0,36

Apêndice 13. Umidade do solo no ciclo da cultura da aveia, em integração soja-bovinos de corte.

Trat.	Profundidade	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out
	--- cm ---	----- m ³ m ⁻³ -----					
10	0 - 5	0,33	0,33	0,32	0,41	0,28	0,35
	5 - 10	0,31	0,30	0,30	0,32	0,29	0,33
	10 - 20	0,33	0,30	0,30	0,34	0,34	0,35
	20 - 30	0,34	0,34	0,34	0,33	0,35	0,36
	30 - 50	0,35	0,35	0,35	0,34	0,39	0,39
20	0 - 5	0,33	0,32	0,31	0,39	0,28	0,35
	5 - 10	0,31	0,30	0,30	0,34	0,27	0,32
	10 - 20	0,33	0,33	0,32	0,34	0,29	0,35
	20 - 30	0,36	0,35	0,34	0,36	0,34	0,37
	30 - 50	0,36	0,36	0,35	0,33	0,35	0,36
30	0 - 5	0,32	0,30	0,30	0,39	0,37	0,40
	5 - 10	0,32	0,31	0,31	0,35	0,31	0,37
	10 - 20	0,33	0,30	0,30	0,34	0,33	0,36
	20 - 30	0,38	0,36	0,36	0,37	0,37	0,40
	30 - 50	0,37	0,36	0,36	0,37	0,29	0,40
40	0 - 5	0,33	0,34	0,34	0,42	0,30	0,46
	5 - 10	0,31	0,30	0,30	0,34	0,28	0,37
	10 - 20	0,33	0,32	0,32	0,34	0,35	0,38
	20 - 30	0,36	0,35	0,35	0,35	0,32	0,40
	30 - 50	0,36	0,36	0,36	0,35	0,34	0,41
SP	0 - 5	0,36	0,36	0,37	0,40	0,32	0,46
	5 - 10	0,37	0,36	0,36	0,35	0,39	0,37
	10 - 20	0,36	0,37	0,37	0,37	0,34	0,37
	20 - 30	0,38	0,38	0,38	0,34	0,35	0,35
	30 - 50	0,38	0,38	0,39	0,34	0,39	0,35

LITERATURA CITADA

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 56, p. 777-783, 1992.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, p. 99-105, 1990.

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

KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. The 5 M NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. **Clays Clay Minerology**, v. 30, p. 40-408, 1982.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.499-510.

SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 313-319, 1997.