

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**VARIAÇÃO TEMPORAL DA ESTRUTURA DO SOLO EM SISTEMAS
INTEGRADOS DE CULTIVO DA CEBOLA NO URUGUAI**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Adão Leonel Mello Corcini

Santa Maria, RS, Brasil

2008

**VARIAÇÃO TEMPORAL DA ESTRUTURA DO SOLO EM SISTEMAS
INTEGRADOS DE CULTIVO DA CEBOLA NO URUGUAI**

por

Adão Leonel Mello Corcini

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo.**

Orientador: Dalvan José Reinert

Santa Maria, RS, Brasil

2008

Corcini, Adão Leonel Mello, 1977-

C793v

Variação temporal da estrutura do solo em sistemas integrados de cultivo da cebola no Uruguai / por Adão Leonel Mello Corcini ; orientador Dalvan José Reinert. – Santa Maria, 2008.

106 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2008.

1. Ciência do solo 2. Estrutura do solo 3. Matéria orgânica 4. Porosidade do solo 5. Condutividade hidráulica saturada 6. Permeabilidade ao ar do solo
I. Reinert, Dalvan José, orient. II. Título

CDU: 631.4

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2008

Todos os direitos autorais reservados a Adão Leonel Mello Corcini. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Universidade Federal de Santa Maria/Centro de Ciências Rurais/Departamento de Solos/Av. Roraima, n. 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, 97105-900.

Fone/Fax: (055) 3220-8108; End. Eletr: cacacorcini@ibest.com.br

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a
Dissertação de Mestrado

**VARIAÇÃO TEMPORAL DA ESTRUTURA DO SOLO EM SISTEMAS
INTEGRADOS DE CULTIVO DA CEBOLA NO URUGUAI**

elaborada por
Adão Leonel Mello Corcini

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dalvan José Reinert, PhD.
(Presidente/Orientador)

José Miguel Reichert, PhD. (UFSM)
(Co-orientador)

Cláudio Garcia Gallárreta, Dr. (INIA)

Santa Maria, 08 de Julho de 2008.

"... meu filho; vai trabalhar e estudar em Santa Maria..."

*Dedico este trabalho a minha mãe,
Zeudenir de Mello, pelo incentivo e
exemplo de vida!*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Departamento de Solos e ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, pela possibilidade de realização do curso de mestrado.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo no período em que este trabalho foi realizado.

Ao Instituto Nacional de Investigación Agropecuária – INIA, pelas áreas concedidas para realização deste estudo, apoio técnico e financeiro nos trabalhos realizados a campo.

Aos professores Dalvan José Reinert e José Miguel Reichert, pela orientação técnica, pelo respeito e compreensão, pelas palavras de apoio nas horas difíceis e principalmente, por depositarem em mim um voto de confiança.

Aos pesquisadores do INIA Cláudio Garcia, Roberto Docampo, César Burgos e Mário Reineri, pela acolhida em Montevideu, informações sobre os experimentos e apoio técnico nos trabalhos de campo.

Ao Flávio Fontinelli (“Fonti”), que entre um chimarrão e outro, passou suas cobranças e ensinamentos na convivência diária no laboratório de física.

Ao amigo de todas horas, Francisco Finamor (“Fina”), sempre disposto para ajudar, tornando o ambiente de trabalho mais agradável com suas brincadeiras.

Aos Secretários, Flávio Vieira e Tarcísio Uberty pelos lembretes e amizade.

À Juliana Prevedello, Eracilda Fontanela e Letícia Sequinatto, pelo companheirismo, incentivo e ajuda, principalmente, na etapa final deste trabalho.

Aos colegas de pesquisa da Física do Solo: Eduardo Suzuki, Vinícius Hilbig, André Brandt, Jackson Albuquerque, Douglas Kaiser, Marcelo Mentges, Leonir Uhde, Maurício e Marcelo Kunz, Claudia Barros, Leandro Dalbianco, David e Vanderléia da Rosa, Carlos Streck, Davi Vieira e Eduardo Vogelmann, especialmente ao Fabiano Braga, Paulo Gubiani, Neiva Gelain e Miriam Rodrigues, pela contribuição nos trabalhos de campo e de laboratório.

À minha namorada, Elizandra Ranoff Pavin e família, pelo apoio e incentivo.

Ao Mateus, Taciana e Camila pelo apoio incondicional.

Ao Paulinho, Natálie, Guilherme, Henrique e Adão Corcini pelo carinho e compreensão.

À todos, meu MUITO OBRIGADO.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

VARIAÇÃO TEMPORAL DA ESTRUTURA DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE CULTIVO DA CEBOLA NO URUGUAI

AUTOR: ADÃO LEONEL MELLO CORCINI

ORIENTADOR: DALVAN JOSÉ REINERT

Local e Data da Defesa: Santa Maria, 08 de julho de 2008.

A importância social e econômica da cebola é muito grande no Uruguai. O revolvimento do solo e a construção de camalhões são essenciais para diminuir a densidade e aumentar a relação macro/microporos em solos com características vérticas para que ocorra o bom desenvolvimento da cultura. O objetivo deste trabalho foi analisar o efeito dos diferentes tratamentos, tendo como parâmetros a alteração da estabilidade de agregados, teor de matéria orgânica do solo (MO) e algumas propriedades físico-hídricas do solo como porosidades, densidade do solo, curva característica de retenção de água no solo, permeabilidade ao ar e condutividade hidráulica. Foram analisados dois experimentos pertencentes ao Instituto Nacional de Investigação Agropecuária (INIA) instalados no ano de 1995. No experimento I foram cultivadas as culturas de alfafa, festuca, consórcio (cornichão, alfafa e trevo-branco), cebola-pós-alfafa, cebola-pós-festuca e cebola-pós-consórcio, resultando em seis tratamentos. No experimento II no verão, as parcelas são ocupadas com pousio estival, feijão, milho e moha e, no inverno, cultiva-se cebola. Em ambos os experimentos as culturas foram submetidas a três distintas doses de nitrogênio (0, 80 e 120 kg de N ha⁻¹). Para análise de agregados e MO, coletaram-se amostras com estrutura preservada na camada de 0-0,05 m, utilizando três sub-amostras de campo; para determinar as propriedades físico-hídricas do solo coletaram-se amostras utilizando cilindros volumétricos em duas camadas, 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade. Os resultados demonstraram uma maior variação do diâmetro geométrico úmido (DMGu) em relação ao peneiramento a seco. O índice de estabilidade (IE) foi maior nas parcelas cultivadas com pastagem no experimento I e na parcela que permaneceu em pousio no experimento II, resultando em uma maior preservação dos agregados ocasionado pela ausência de preparo ou adubação orgânica, a qual ocasionou um incremento de MO. Analisando as propriedades físico-hídricas, constatou-se que o preparo convencional é necessário neste tipo de solo, pois aumenta o volume de macroporos ocasionando redução na densidade do solo e incrementos na condutividade hidráulica saturada e permeabilidade ao ar.

Palavras-chave: Estrutura do solo, matéria orgânica, porosidade do solo, condutividade hidráulica saturada, permeabilidade ao ar do solo.

ABSTRACT

Master Dissertation
Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

TEMPORAL VARIATION OF SOIL STRUCTURE IN INTEGRATED SYSTEMS OF ONION PRODUCTION IN URUGUAY

AUTHOR: ADÃO LEONEL MELLO CORCINI

ADVISER: DALVAN JOSÉ REINERT

Place and date of the defense: Santa Maria, 8 July, 2008.

The social and economical importance of onion in Uruguai is very relevant. The soil mobilization and ridge till are crucial to reduce bulk density and increase the macro/micropores relation for Argiudoll, to induce conditions for a normal growth and development for most crops. The objectives of this study were to measure the effects of soil and plant management on aggregate stability, organic matter and some soil physico-hydric properties as porosity, bulk density, water retention curve, air permeability and water conductivity. Two experiments from National Institute of agriculture investigation (INIA) initiated in 1995 were used. Experiment one used the following treatment: 1) alfalfa; 2) festuca; 3) birdfoot trefoil, alfalfa and white clover mixture; 4) onion after alfalfa; 5) onion after festuca; 6) onion after plant mixture. The experiment two used the following treatments: Summer season - 1) fallow; 2) feijão; 3) corn; 4) setaria. During winter season onion was cultivated at all plots. In both experiments the plots were split to receive 0, 80 and 120 kg de N ha⁻¹. To measure aggregate stability and organic matter preserved three soil samples from each plot were taken from 0-0.05 m layer. To measure soil physico-hydric properties samples were taken using metallic rings from 0-0.01 and 0.1-0.2 m layers. The variation of water stable aggregates were higher than of dry stable aggregates. The stability index was higher for pastures in the experiment I and for fallow in the experiment II, implying lower aggregates impact due tillage or higher organic matter addition by plants on soil surface. However, there is clear indication that tillage was necessary, in order to improve macroporosity, hydraulic conductivity and air permeability.

Key-words: soil structure, organic matter, porosity, hydraulic conductivity, air permeability.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Vista aérea dos experimentos: Sistema agro-pastoril (I) contendo seis tratamentos e culturas de verão (II) com quatro tratamentos.	27
FIGURA 2 – Aparelho utilizado na determinação do tamanho de agregados via úmida (A) e seqüência de peneiras: 4,76, 2,00, 1,00 e 0,25 mm (B).	33
FIGURA 3 – Equipamento utilizado nas medidas de condutividade hidráulica em amostras indeformadas de solo.	36
FIGURA 4 – Equipamento utilizado nas medidas de condutividade ao ar em amostras indeformadas de solo.	38
FIGURA 5 – Distribuição do tamanho de agregados na primeira (a) e na segunda coleta (b) para os diferentes tratamentos do sistema agro-pastoril. ...	48
FIGURA 6 – Distribuição do tamanho de agregados na terceira (a) e na quarta coleta (b) para os diferentes tratamentos do sistema agro-pastoril.	49
FIGURA 7 – Distribuição do tamanho de agregados na primeira (a) e na segunda coleta (b) para os diferentes tratamentos do culturas de verão.	56
FIGURA 8 – Distribuição do tamanho de agregados na terceira (a) e na quarta coleta (b) para os diferentes tratamentos do culturas de verão.	57
FIGURA 9 – Curva característica de água no solo na primeira coleta para os diferentes tratamentos do sistema agro-pastoril.	65
FIGURA 10 – Curva característica de água no solo na segunda coleta para os diferentes tratamentos do sistema agro-pastoril.	65
FIGURA 11 – Curva característica de água no solo na terceira coleta para os diferentes tratamentos do sistema agro-pastoril.	66
FIGURA 12 – Curva característica de água no solo na quarta coleta para os diferentes tratamentos do sistema agro-pastoril.	66
FIGURA 13 – Relação entre a permeabilidade ao ar e o espaço aéreo do solo para os diferentes tratamentos do sistema agro-pastoril.	68

FIGURA 14 – Curva característica de água no solo na primeira coleta para os diferentes tratamentos do culturas de verão.....	75
FIGURA 15 – Curva característica de água no solo na segunda coleta para os diferentes tratamentos do culturas de verão.....	75
FIGURA 16 – Curva característica de água no solo na terceira coleta para os diferentes tratamentos do culturas de verão.....	76
FIGURA 17 – Curva característica de água no solo na quarta coleta para os diferentes tratamentos do culturas de verão.....	76
FIGURA 18 – Relação entre a permeabilidade ao ar e o espaço aéreo do solo para os diferentes tratamentos do culturas de verão.	78

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Diâmetro médio geométrico seco (DMGs mm) nos diferentes tratamentos determinados em quatro épocas no sistema agro-pastoril.	42
TABELA 2 – Diâmetro médio geométrico úmido (DMGu mm) nos diferentes tratamentos determinados em quatro épocas no sistema agro-pastoril.	43
TABELA 3 – Índice de estabilidade (IE) nos diferentes tratamentos determinados em quatro épocas no sistema agro-pastoril.....	44
TABELA 4 – Teor de matéria orgânica do solo (MO%) nos diferentes tratamentos determinados em quatro épocas no sistema agro-pastoril.	45
TABELA 5 – Diâmetro médio geométrico seco (DMGs mm) nos diferentes tratamentos determinados em quatro épocas no culturas de verão.....	51
TABELA 6 – Diâmetro médio geométrico úmido (DMGu mm) nos diferentes tratamentos determinados em quatro épocas no culturas de verão.....	52
TABELA 7 – Índice de estabilidade (IE) nos diferentes tratamentos determinados em quatro épocas no culturas de verão.	53
TABELA 8 – Teor de matéria orgânica do solo (MO%) nos diferentes tratamentos determinados em quatro épocas no culturas de verão.....	54
TABELA 9 – Valores de densidade do solo ($D_s \text{ Mg m}^{-3}$) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m no sistema agro-pastoril.	59
TABELA 10 – Porosidade total ($PT \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m no sistema agro-pastoril.	61
TABELA 11 – Microporosidade ($Mic \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m no sistema agro-pastoril.	61

TABELA 12 – Macroporosidade ($Mac\ m^3\ m^{-3}$) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m no sistema agro-pastoril.	62
TABELA 13 – Condutividade hidráulica saturada ($K_s\ mm\ h^{-1}$) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m no sistema agro-pastoril.....	63
TABELA 14 – Valores de densidade do solo ($Ds\ Mg\ m^{-3}$) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m no culturas de verão.	69
TABELA 15 – Porosidade total ($PT\ m^3\ m^{-3}$) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m no culturas de verão.....	70
TABELA 16 – Microporosidade ($Mic\ m^3\ m^{-3}$) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m no culturas de verão.....	71
TABELA 17 – Macroporosidade ($Mac\ m^3\ m^{-3}$) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m no culturas de verão.....	72
TABELA 18 – Condutividade hidráulica saturada ($K_s\ mm\ h^{-1}$) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m no culturas de verão.	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	14
2	HIPÓTESE	17
3	OBJETIVO GERAL	18
3.1	Objetivos específicos	18
4	REVISÃO DE LITERATURA	19
4.1	Cultivo de cebola no Uruguai	19
4.2	Estrutura e matéria orgânica do solo	20
4.3	Densidade e porosidade do solo	23
4.4	Condutividade hidráulica saturada	24
4.5	Curva característica de água no solo e permeabilidade do solo ao ar	25
5	MATERIAL E MÉTODOS	27
5.1	Clima e solo	28
5.2	Delineamento experimental e tratamentos	28
5.3	Experimentos	29
5.3.1	Sistema agro-pastoril - Experimento I	29
5.3.2	Culturas de verão - Experimento II	30
5.4	Coleta das amostras	31
5.5	Determinações	32
5.5.1	Distribuição do tamanho de agregados e matéria orgânica do solo	32
5.5.2	Caracterização físico-hídrica do solo	35
5.5.3	Análise estatística	40
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6.1	Estudo 1 - Avaliação da qualidade estrutural e teor de matéria orgânica do solo	41

6.1.1 Sistema agro-pastoril.....	41
6.1.2 Culturas de verão	50
6.2 Estudo 2 - Avaliação das propriedades físico-hídricas do solo.....	58
6.2.1 Sistema agro-pastoril.....	58
6.2.2 Culturas de verão	69
7 CONCLUSÕES	79
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
9 ANEXOS	87
10 APÊNDICES	90

1 INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo da cebola (*Allium cepa*), no país do Uruguai, gera o maior volume de produção entre as espécies hortícolas cultivadas no país. Isso faz com que ocupe o segundo lugar em número de produtores envolvidos e o quarto em superfície plantada, não incluindo a cultura da batata (*Solanum tuberosum*).

A cultura é característica de pequenas propriedades rurais que não se enquadram no modelo de agricultura extensiva. Isso fundamentalmente devido à grande demanda de mão-de-obra na implantação, condução, colheita e comercialização, agregando, assim, alto valor ao produto final.

No ano de 2002, a produção nacional de cebola foi de 26.944 toneladas em uma área de 1,8 mil ha, totalizando um rendimento médio de 14.500 kg ha⁻¹. Essa produtividade é considerada razoável devido ao baixo nível tecnológico na maioria das unidades produtoras. Dados experimentais comprovam que é possível obter rendimentos superiores a 25.000 kg ha⁻¹ empregando práticas de cultivo simples, tais como: uso de cultivares adaptadas à região, plantio na época recomendada e manejo correto do solo, da água (em cultivos irrigados) e da adubação.

A maior produção de hortifrutigranjeiros no Uruguai encontra-se no anel que circunda a cidade de Montevidéu, ou seja, abrange um raio de 50 km ao redor do mercado consumidor, pois 50 % da população uruguaia residem na capital. Essa região é caracterizada por solos de difícil drenagem e com presença de minerais 2:1. Segundo Dudal; Eswaran (1988), dos 16.000.000 ha de área que constituem o Uruguai, aproximadamente 1.000.000 ha se enquadram na classe dos Vertissolos (solos com predomínio de minerais 2:1).

Os vertissolos no Uruguai estão posicionados em duas condições topográficas: (i) em posição de deposição, ou seja, nas regiões quase planas e (ii) coxilhas convexas entre 1 e 4 % de declive. Os primeiros são solos típicos da zona centro-norte do país, onde predominam materiais geológicos basálticos. No segundo grupo os solos comuns da região centro-sul e sudoeste do país, sobre materiais sedimentares e textura argilo-siltosa ou franco-argilo-siltosa (CAPURRO, 2005). Esses solos possuem elevada fertilidade natural, tornando os campos de pastagens e pequenas lavouras altamente produtivas, mesmo com pouca ou, até mesmo, sem adubação química. Por outro lado, a presença de argilominerais 2:1 proporcionam diversas limitações físicas.

Entender as limitações desse tipo de solo e seus potenciais pode acrescentar um ganho extra no desenvolvimento das culturas e atividades sobre ele, o que muitas vezes pode fazer diferença na obtenção ou não do sucesso da atividade agrícola em questão. Os minerais 2:1 conferem ao solo uma elevada plasticidade e pegajosidade quando úmido e, quando seco, alta dureza dos agregados constituintes. Essas características dificultam o manejo, deixando esse tipo de solo em desvantagem frente a outros solos que também possuem drenagem moderada. Devido a essa limitação no campo, os solos são conhecidos como “Solo de um dia”, devido ao curto período de tempo em que o solo permanece numa umidade ótima que favorece o manejo do solo.

Condições naturais encontradas nesse tipo de solo, como alta densidade e uma baixa relação macro/microporos são prejudiciais para bom desenvolvimento das plantas. Por esse motivo, o preparo convencional e a construção do camalhão são práticas que devem ser realizadas antes da implantação da cultura da cebola, realizadas em meados de julho. Em contrapartida, a estabilidade da estrutura do solo, bem como o seu teor de matéria orgânica, tem relação direta com o manejo utilizado e as culturas empregadas. Castro Filho et al. (1998) afirmaram que práticas não conservacionistas associadas ao cultivo intenso do solo resultam na degradação e, conseqüentemente, na redução do teor de matéria orgânica do solo.

O Instituto Nacional de Investigação Agropecuária (INIA) – Estação “Wilson Ferreira Aldunate” vem desenvolvendo experimentos comparando o sistema adotado pelos pequenos produtores, onde a cultura da cebola é utilizada como monocultura sob preparo convencional do solo com uma nova proposta de cultivo. Esse sistema consiste em intercalar a cultura principal com culturas anuais ou pastagens semi-perenes por um período de três anos, onde a mobilização do solo é reduzida e o aporte de material orgânico é maximizado. Dentro de cada sistema são usadas diferentes rotações de culturas, envolvendo culturas de verão e/ou pastagens intercaladas com a cultura da cebola, rotações essas escolhidas de acordo com a necessidade e viabilidade de uso pelos agricultores da região.

Segundo Santos et al. (2001), as forrageiras, quando em sucessão às culturas anuais, podem trazer benefícios ao ambiente edáfico, especialmente pelo incremento nos teores de matéria orgânica na camada superficial do solo. Do ponto de vista da conservação do solo, as pastagens representam uma forma adequada de uso do mesmo, desde que manejadas com reposição de nutrientes e lotação (carga animal)

adequada, sendo uma excelente alternativa para rotação cultural em cultivos de cebola.

Diante disso, mostra-se necessária a pesquisa buscando o melhoramento das condições para a produção da cebola. Contudo, são necessários estudos sobre manejo de cultivo, solo e água e manejo integrado de pragas e doenças, bem como nas condições de armazenamento e transporte pós a colheita. Assim, a qualidade do produto final será melhor e ocorrerá um aumento na rentabilidade da atividade agrícola para o produtor.

2 HIPÓTESE

O sistema de preparo convencional do solo para cultivo da cebola, quando utilizado por um longo período, gera a degradação da estrutura do solo e altera negativamente o comportamento hídrico, em comparação ao sistema menos intensivo do solo onde o cultivo da cebola é intercalado com pastagem por um período de três anos.

3 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência de sistemas de manejo do solo e culturas na variação estacional dos agregados, teor de matéria orgânica e atributos físico-hídricos de um solo cultivado com hortaliças em rotação com pastagens e culturas anuais.

3.1 Objetivos específicos

- (i) Avaliar a variação estacional da agregação e teor de carbono orgânico no solo afetado pelo tipo de rotação utilizada e doses de nitrogênio;
- (ii) Determinar a porosidade (total, macro e microporos), densidade e condutividade hidráulica do solo nos diferentes tratamentos/manejos adotados;
- (iii) Avaliar curvas de retenção de água no solo, disponibilidade de água e permeabilidade do solo ao ar e à água;

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Cultivo de cebola no Uruguai

O cultivo de cebola e demais hortaliças no Uruguai se situa em duas principais zonas de produção: ao sul do país, nos departamentos de Canelones e San José, e no litoral (noroeste), nos departamentos de Salto e Artigas. A maior produção se encontra em um raio de aproximadamente 50 km da capital, devido ao fato da proximidade da lavoura e do mercado consumidor, pois a produção é destinada basicamente para suprir a demanda interna (CORCINI et al., 2007). O grande entrave do cultivo de hortaliças na região sul do Uruguai é o tipo de solo encontrado na maioria das pequenas propriedades rurais, onde a renda principal da família é obtida através do cultivo de hortaliças em solos com características vérticas, sendo necessária a intensa movimentação do solo para construção do camalhão e conseqüentemente tornar um ambiente mais favorável para o bom desenvolvimento dos bulbos de cebola. Outro fator limitante está relacionado à integração lavoura/pecuária muito utilizada naquele país.

Dentro do departamento de Canelones se encontram três zonas tradicionais produtoras de cebola, sendo elas: Canelón Grande, Pantanoso del Sauce e Costas de Pando. No entanto, os cultivos de cebola ocorreram em áreas muito diferentes e associadas a diversas rotações e/ou sucessões de cultura, acarretando numa variabilidade muito grande na produtividade.

A partir de 1997, com o convênio firmado entre Uruguai e Alemanha com o objetivo de operar no “Programa de Reconversión y Desarrollo de la Granja” (PREDEG) y la DIGEGRA (Dirección General de La Granja) colocaram em prática o “Programa Piloto de Producción”. Este teve a finalidade de assegurar a sustentabilidade das técnicas de produção visando um manejo equilibrado dos recursos naturais e o cuidado da saúde de produtores rurais e dos consumidores.

Por meio de trabalhos de melhoramento genético realizados no INIA Salto Grande e no Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía, desenvolveram-se cultivares locais, sendo elas a INIA Casera (VICENTE et al., 2003) e Pantanoso del Sauce CRS (FACULTAD DE AGRONOMIA, 2004). Essas cultivares tem contribuído para melhorar a competitividade da produção que alcançou elevado êxito nas exportações realizadas durante o ano de 2004 para o Brasil. INIA Casera também foi

exportada para Holanda e a cultivar Pantanoso para países europeus (CAMPELO; ARBOLEYA, 2005).

4.2 Estrutura e matéria orgânica do solo

O solo é um recurso natural formado pela ação conjunta dos fatores climáticos, biológicos e relevo que atuam sobre o material originário ao longo do tempo. A ação conjunta desses fatores dá-se por adições, perdas, translocações de material no interior do solo, através de processos físicos, químicos e biológicos (EMBRAPA, 1999) e, por isso é considerado um sistema aberto, dinâmico e frágil, estando sujeito a alterações em resposta a fatores bióticos e abióticos.

A estrutura e a textura são as propriedades físicas do solo consideradas mais importantes associadas ao crescimento das plantas. A natureza dinâmica da estrutura, no entanto, torna o conhecimento dos fatores e mecanismos de sua variação no espaço e no tempo de grande relevância na funcionalidade dos solos, pois, embora não seja considerada em si um fator de crescimento de plantas, exerce influência no suprimento de água e ar às raízes das culturas, na disponibilidade de nutrientes e na penetração e desenvolvimento das raízes (VIANA et al., 2004). Dentre as propriedades físico-mecânicas do solo, salienta-se a formação de unidades estruturais compostas, ou agregados, as quais são separadas por superfícies de fraqueza e determinam a distribuição e o tamanho dos poros.

A formação dos agregados começa com a aproximação de partículas minerais do solo (areia, silte e argila) os pequenos agregados formados, por sua vez, formam agregados sucessivamente maiores, constituindo-se cada um destes estágios de agregação em um nível hierárquico (FERREIRA et al., 2007).

Vários fatores afetam a formação de agregados: i) os cátions cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), sódio (Na^{+1}) e os óxidos de ferro e de alumínio alteram a espessura da dupla camada difusa, causando floculação ou dispersão. ii) matéria orgânica: atua na agregação do solo como um agente cimentante. Para Hillel (1998), devido à matéria orgânica ser susceptível à decomposição pelos microrganismos, a mesma deve ser repostada continuamente para que se mantenha a estabilidade dos agregados ao longo do tempo; iii) sistema de cultivo e sistema radicular: a influência do sistema de cultivo na agregação é devido ao sistema radicular, densidade e continuidade da

cobertura, modo e frequência do cultivo e tráfego. As raízes exercem pressões que comprimem os agregados, separando dos agregados adjacentes. A absorção de água pelas raízes causa desidratação diferencial, contração e abertura de numerosas trincas pequenas. As condições de umidade por ocasião do cultivo ou ciclos de umedecimento e secagem têm grande influência na estabilidade dos agregados. O preparo do solo com alto teor de umidade pode causar compactação, enquanto que o preparo do solo quando seco pode causar pulverização do solo. Para “preservar” os agregados, é necessário que o preparo do solo seja feito na zona de friabilidade do solo; iv) microorganismos (bactérias e fungos) do solo responsáveis pela cimentação dos agregados através de produtos excretados e v) teor e tipo dos argilo-minerais e óxidos de ferro e alumínio encontrados no solo.

Dentre esses fatores citados acima, Baver et al. (1972), Buol et al. (1997), Hillel (1998), Bronick; Lal (2005) e Ferreira et al. (2007) consideram que a matéria orgânica do solo e os óxidos de ferro são os principais agentes atuantes na formação e estabilização da estrutura do solo.

Um aspecto estrutural de grande importância prática é a estabilidade de agregados. Alguns grânulos cedem imediatamente ao impacto das gotas de chuva e ao preparo convencional do solo. Outros, ao contrário, resistem à desintegração, tornando assim fácil a manutenção de uma estrutura apropriada de solo. As diferenças na estabilidade do agregado estão aparentemente relacionadas com a presença ou ausência de certos agentes cimentantes. A estabilidade dos agregados é influenciada por diversas características do solo, como textura e teor de óxidos de ferro e alumínio (OADES; WATERS, 1991; DUFRANC et al., 2004, FERREIRA et al., 2007), teor de matéria orgânica (ROTH et al., 1991; Bertol et al., 2000) e atividade microbiana (TISDALL; OADES, 1979) e também pelo manejo do solo (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990). Como regra geral, quanto maior for o tamanho dos agregados, menor será a sua estabilidade. Esta é a razão porque há dificuldade na formação de agregados do solo em terras cultivadas, além de um certo tamanho de grânulo ou grumo (BRADY, 1968).

Para avaliar a estrutura do solo é necessário determinar o grau de agregação, estabilidade dos agregados e a natureza do espaço poroso, características que mudam com o preparo do solo e os sistemas de cultivo (BAVER, 1972). A estabilidade da estrutura se refere à resistência que os agregados do solo oferecem às forças de desintegração da água e manipulação mecânica. A estabilidade de agregados é de fundamental importância na formação e preservação

das relações estruturais favoráveis do solo (JURY et al., 1991). Dentre os principais fatores destrutivos dos agregados pode-se citar: impacto das gotas de chuva que pode causar desagregação e erosão; preparo excessivo do solo que pode causar compactação e pulverização do solo; aumento da concentração de Na^+ relativo a Ca^{++} e Mg^{++} causando dispersão e temperatura que pode causar oxidação da matéria orgânica.

Determinar a distribuição do tamanho de agregados do solo é importante porque indica sua susceptibilidade à erosão pelo vento e água e, também, determina as dimensões do espaço poroso em solos cultivados. O tamanho dos poros afeta o movimento e distribuição de água e ar no solo, que são fatores que afetam diretamente o crescimento das plantas (KEMPER; CHEPIL, 1965).

A determinação da distribuição do tamanho de agregados é também, de certo modo, a determinação da estabilidade de agregados. Isso porque alguma força é necessária para desintegrar a massa de solo em agregados, e os agregados que continuam intactos são aqueles em que as partículas primárias possuem uma força de coesão suficiente para serem estáveis à aplicação de força (KEMPER, 1965). As forças envolvidas em estudos de estabilidade e tamanho de agregados tentam simular as forças que resultam do cultivo, erosão e umedecimento do solo.

Destruir a estrutura de um solo é relativamente fácil; por outro lado, a sua recuperação ou formação de novos agregados é muito lenta. Para a recuperação ou manutenção se recomenda a rotação de culturas, a aplicação de calcário, de adubos orgânicos e o manejo adequado do solo. Nesse sentido, conhecer e entender as características químicas, biológicas e, principalmente, físicas do solo, é importante, pois informam com detalhes aspectos de qualidade do solo, ao passo que, qualidade do solo definida por Reinert (1998) é a capacidade de funcionalidade dos solos dentro de um ecossistema, sustentar a produtividade, manter a qualidade ambiental e promover a sanidade animal e vegetal.

4.3 Densidade e porosidade do solo

A avaliação dos efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas tem sido feita utilizando diferentes propriedades do solo. A densidade e a porosidade do solo têm sido comumente utilizadas, pois possuem uma relação direta com a textura e a estrutura do solo (CORSINI; FERRAUDO, 1999). Scapini et al. (1998) e Reichert et al. (2003) concluíram que a densidade do solo é um parâmetro que serve como índice de compactação do solo e é muito utilizada nas avaliações do estado estrutural dos solos devido à facilidade de coleta e determinação em laboratório.

Reinert et al. (2001), estabeleceram valores críticos de densidade do solo. Propuseram como sendo de $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos com horizonte de textura argilosa (mais de 55 % de argila), $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos com horizonte de textura média (argila entre 20 e 55%) e de $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos com textura arenosa (menos de 20% de argila).

Machado; Brum (1978), estudando os efeitos de sistema de cultivo verificaram que a densidade do solo aumentou, sendo esse aumento uma resposta direta do pisoteio de animais associado à redução dos teores de matéria orgânica, da porosidade total e também da macroporosidade do solo. O tráfego de máquinas, desde o preparo do solo até à colheita, também contribui para aumentar as áreas com problemas de compactação do solo (SILVA, 2003; SILVA et al., 2006), resultando num aumento da densidade e redução do volume dos poros (HILLEL, 1980). A degradação da estrutura do solo tem provocado efeitos negativos nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, com prejuízos ao desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, na produção agrícola (GUPTA et al., 1989; CAMARGO; ALLEONI, 1997).

Quando o solo se encontra com teor de umidade acima da umidade ótima para manejo agrícola a compactação do solo é acentuada, pois a água faz o papel de lubrificante e facilita a acomodação dos agregados, aumentando ainda mais a densidade do solo. Esse efeito é mais marcante na camada de 0,00-0,15 m quando submetidos ao preparo convencional do solo. A cobertura vegetal (palhada), textura e estrutura do solo, tipo de maquinário utilizado nas operações mecanizadas são os demais fatores físicos que a afetam a densidade do solo e conseqüentemente a distribuição do tamanho de poros (SUZUKI, 2005).

4.4 Condutividade hidráulica saturada

O conhecimento da condutividade hidráulica do solo é essencial para qualquer estudo que envolva o movimento de água no solo, podendo ser determinada por vários métodos no campo ou no laboratório. Em ambas as determinações, a variabilidade encontrada entre as repetições pode apresentar uma grande amplitude, sendo esta uma limitação na obtenção deste parâmetro (HURTADO, 2004). A condutividade hidráulica saturada é uma determinação fácil, prática e rápida quando analisada em laboratório.

A condutividade hidráulica expressa a facilidade com que um fluido é transportado através de um meio poroso, que varia de solo para solo e até no mesmo solo, dependendo, portanto, das propriedades do meio e do fluido (LIBARDI, 2000). Podem-se citar como propriedades mais importantes do solo a forma de suas partículas, a superfície específica, a porosidade, a estrutura e a compactação, ou seja, todas as propriedades que refletem a geometria porosa do solo.

Solos onde a mobilização é intensa, ou seja, submetidos ao preparo convencional por um período de tempo prolongado, sofrem alterações drásticas em sua geometria porosa em função da quantidade de água que escoou pelo perfil, mas, sobretudo, pelo uso intensivo de máquinas e equipamentos utilizados no preparo do solo e demais práticas agrícolas que uma lavoura necessita (SAUNDERS et al., 1978).

O aumento do nível de compactação do solo acarreta aumento dos microporos e principalmente diminuição dos macroporos, determinando redução na condutividade hidráulica saturada, o que deve estar relacionado à diminuição dos macroporos. Solos compactados caracterizam-se por apresentar uma diminuição do espaço poroso, com implicações sobre a movimentação de água e de gases no seu interior e na resistência que oferecem ao crescimento das raízes das plantas. Em geral, observa-se uma redução da taxa de infiltração de água no solo e uma diminuição na quantidade de água disponível às plantas. Além disso, em períodos de chuvas intensas pode haver dificuldades nas trocas gasosas entre o solo e a atmosfera e, em períodos secos, acarretando em dificuldades na penetração de raízes (BRAIDA, 2004).

A formação de horizontes com incremento de argila (Bt, por exemplo) influencia também a condutividade hidráulica saturada (K_s), pois este acúmulo de

argila em sub-superfície pode formar camadas adensadas provocando mudanças importantes nas propriedades físico-hídricas do solo, principalmente a redução da infiltração de água e conseqüentemente uma menor K_s . Essa variação é mais expressiva em solos que apresentam alto teor de argila dispersa em água (HELALIA et al., 1988).

4.5 Curva característica de água no solo e permeabilidade do solo ao ar

Uma característica essencial de um solo produtivo é que ele seja capaz de manter uma dotação adequada de ar e água às raízes dos vegetais (OTTONI, 2003). A ênfase dada à estrutura do solo como fator de produção agrícola deve-se, em grande parte, ao fato de serem o ar e a água os ocupantes básicos dos espaços vazios. A sustentabilidade agrícola dos solos, prioritariamente, também está relacionada com a preservação do estado de aeração e hidratação dos sistemas radiculares.

Para um adequado crescimento, as plantas necessitam de uma estrutura que possibilite uma área de contato entre as raízes e o solo, que assegure a obtenção de água e nutrientes e um suficiente espaço poroso para o fornecimento adequado de oxigênio (LIMA, 2004).

O arranjo das partículas minerais juntamente com a matéria orgânica forma a estrutura básica que denominamos de estrutura do solo. Esta estrutura irá definir a porosidade do solo em questão, podendo ser dividida em microporos, poros formados no interior dos agregados, e macroporos, poros formados por agregados diferentes (BAVER, 1972). Os microporos do solo são os poros responsáveis pela retenção de água, ou seja, aquela água que será retirada pelas plantas durante o período de estiagens, enquanto os macroporos após a rápida drenagem são os poros responsáveis pela aeração do solo (HILLEL, 1998).

Na natureza, nem tudo é sistemático, e a variação da permeabilidade dos solos é muito grande, pois é um fator dependente da estrutura e, conseqüentemente da porosidade do solo, que muitas vezes não segue a mesma tendência. Em um mesmo solo nos diferentes horizontes, pode ocorrer uma variação drástica na porosidade e afetar a distribuição de ar e água disponíveis para a cultura. Baseado neste aspecto, Streck (2007) afirma que mais importante que a porosidade é a

continuidade de poros, pois poros obstruídos não contribuem para a realização da troca gasosa entre o solo e a atmosfera.

Solos com boas características físicas, ou seja, solos bem estruturados são bem arejados e permeáveis e também possuem uma adequada retenção de água, tornando um ambiente favorável para o bom desenvolvimento das raízes. Porém, solos com características vérticas são formados com predomínio de minerais 2:1, o que lhes conferem uma elevada plasticidade e pegajosidade quando úmidos e muito duros quando secos. Devido aos processos de umedecimento e secagem, são solos que naturalmente são mais densos e, conseqüentemente, ocorre um predomínio da microporosidade, acarretando uma redução na macroporosidade do solo (KLEIN; LIBARDI 2002), o que pode ocasionar um déficit de ar para o bom desenvolvimento da cultura. Vários autores, dentre eles Cannel (1977), Tormena et al. (1998) e Beutler (2004), estudando o Intervalo Hídrico Ótimo (IHO), afirmam que a macroporosidade mínima, para não causar danos as culturas, deve ser de 10% do total de poros.

As modificações provocadas pelo revolvimento na estrutura, distribuição do tamanho dos poros e teor de carbono orgânico alteram as forças de retenção de água no solo e sua disponibilidade de ar e água, os quais são fatores determinantes para o desenvolvimento de plantas em sistemas não irrigados. O preparo modifica também a rugosidade superficial, com a incorporação de resíduos vegetais, ocasionando diminuição da infiltração e aumento da evaporação de água. Além do manejo, a granulometria e constituição do solo influenciam a retenção de água, pois as forças de adsorção dependem, basicamente, da espessura do filme de água que recobre as partículas, a qual varia de acordo com sua superfície específica. Assim, a retenção de água é maior em solos argilosos e com alto teor de matéria orgânica.

Os fluídos “gêmeos” (água e ar) que, juntos, ocupam o espaço aéreo, variam suas frações de volume: com o aumento de um há o decréscimo do outro. Devido a essa dependência, o volume de ar e/ou permeabilidade de um solo devem ser sempre analisadas em paralelo a valores específicos de umidade.

5 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado nos anos de 2006/07 no Instituto Nacional de Investigação Agropecuária (INIA-Las Brujas), Estação “Wilson Ferreira Aldunate” com as seguintes coordenadas: 34° 40’ 10” S e 56° 19’ 36” W.

As amostras foram coletadas em dois experimentos que pertence a um projeto de longa duração, instalados no ano de 1995. Nesses experimentos são avaliados sistemas de culturas e diferentes doses de nitrogênio (Figura 1).



Figura 1 – Vista aérea dos experimentos: Sistema agro-pastoril (I) contendo seis tratamentos: cultivo de alfafa, festuca, consórcio de pastagens, cebola pós alfafa, cebola pós festuca e cebola pós consórcio de pastagens e do experimento com culturas de verão (II) contendo quatro tratamentos: feijão, moha, milho e pousio estival.

5.1 Clima e solo

O Uruguai possui um clima predominantemente temperado. A precipitação apresenta chuvas bem distribuídas ao longo do ano totalizando uma média anual em torno de 1100 mm (GALLÁRRETA, 2006). Em todo o país, dezembro é o mês de menor precipitação com média inferior a 100 mm. A temperatura possui acréscimos de sul a norte pela diminuição da latitude (de 35° a 30°). O oceano influencia as isotermas (linhas imaginárias que unem pontos com mesma temperatura) que aumentam de SE a NO. Em Montevidéu, o mês mais quente é janeiro e o mais frio, julho, com uma diferença de 12° C em média. As temperaturas máximas oscilam entre os 15 °C no inverno e os 32 °C no verão.

Segundo Docampo (2005), o solo é classificado como Brunosol Subeútrico típico (na legenda FAO, 1994). Na classificação brasileira o solo se enquadra na classe LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico.

5.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e três repetições. As parcelas e sub-parcelas tinham dimensões de 10 x 15 m e 10 x 5 m, respectivamente. Nas parcelas principais foram casualizadas as culturas e nas sub-parcelas as doses de nitrogênio. As doses de nitrogênio foram aplicadas somente nas parcelas que receberam a cultura da cebola. A ocupação das parcelas com a cultura da cebola foi diferente em cada experimento e será detalhada nos tópicos específicos, referentes a cada experimento.

5.3 Experimentos

5.3.1 Sistema agro-pastoril - Experimento I

Neste experimento foram analisados 18 tratamentos, compostos pela combinação de seis sucessões de culturas e três doses de nitrogênio. Em cada ciclo três parcelas do bloco eram cultivadas com pastagem e as outras três com a cultura da cebola, por um período de três anos. Ao final do triênio, o cultivo das parcelas foi invertido, ou seja, parcelas que estavam sendo cultivadas com pastagem passaram a ser cultivadas com cebola e parcelas onde se cultivou cebola passaram a ser cultivadas com pastagem. Assim, as seis sucessões de culturas analisadas em 2006-2007 foram:

- 1- Alfafa (*Medicago sativa*) pós cebola - AC;
- 2- Cebola (*Allium cepa* L. var. Pantanoso del Sauce) pós alfafa - CA;
- 3- Festuca (*Festuca arundinacea* Schreber) pós cebola - FC;
- 4- Cebola (*Allium cepa* L. var. Pantanoso del Sauce) pós festuca - CF;
- 5- Consórcio de pastagens: trevo branco (*Trifolium repens* L.) + cornichão (*Lotus coniculatus* L.) + festuca (*Festuca arundinacea* Schreber) pós cebola - ConsC;
- 6- Cebola (*Allium cepa* L. var. Pantanoso del Sauce) pós consórcio de pastagens - CCons.

No inverno, somente nas parcelas cultivadas com cebola, foram aplicadas as doses 0, 80 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, na forma de uréia. Nas demais parcelas, o fator nitrogênio levou em consideração o histórico das doses aplicadas no triênio anterior. Nos anexos 1 e 2 está representado o croqui do experimento com a casualização dos diferentes tratamentos, ciclos de 1995-1997, 2001-2003 e 2007-2009 (Anexo 1) e ciclos 1998-2000 e 2004-2006 (Anexo 2). O primeiro número (1 a 18) refere-se à identificação das parcelas e o último número (1, 2 ou 3) informa as diferentes doses de nitrogênio. Sub-parcelas com final 1 não receberam adubação nitrogenada, com final 2 receberam 80 kg de N ha⁻¹ e a dose correspondente a 120 kg de N ha⁻¹ foi aplicada nas sub-parcelas com final 3.

Antes da implantação das pastagens, o solo foi nivelado com auxílio de uma grade niveladora e após efetuou-se a semeadura. Com a pastagem estabelecida, as

parcelas permaneceram por todo o ciclo (três anos) sem receber preparo do solo. Para implantação das culturas foram utilizados 15 kg ha⁻¹ de sementes de alfafa, 10 kg ha⁻¹ de festuca e no consórcio foi utilizada a proporção de: 8 % de sementes de trevo branco, 23 % de sementes de cornichão e 69 % de sementes de festuca, ou seja, 3,5 kg ha⁻¹, 10 kg ha⁻¹ e 30 kg ha⁻¹ de sementes, respectivamente. As parcelas de alfafa e consórcio de pastagens são destinadas para o pastejo de ovinos e a festuca para produção de sementes.

Para o cultivo da cebola, o solo foi preparado no mês de julho com arado escarificador, na profundidade de 20 cm. Posteriormente, os camalhões foram construídos mecanicamente com um entaipador, nas dimensões de 90 cm de largura e 25 cm de altura. As mudas de cebola foram transplantadas manualmente na primeira quinzena de agosto 2006, com espaçamento de 20 cm entre fileiras e 8 cm entre plantas. O controle de invasoras foi feito manualmente e o de pragas e doenças de forma química, sempre que necessário.

5.3.2 Culturas de verão - Experimento II

Para o experimento II (Anexo 3), nas parcelas principais foram casualizadas, para o período de verão as seguintes culturas:

- 1- Feijão (*Phaseolus vulgaris*);
- 2- Milho (*Zea mays* L. var. Tito);
- 3- Moha (*Setaria italica* L. Beauv);
- 4- Pousio estival (vegetação espontânea);

As culturas feijão, milho e moha não receberam adubação, e a parcela em pousio antecedendo a cultura da cebola recebeu 10 Mg ha⁻¹ de cama de aviário. No inverno, todas as parcelas foram cultivadas com a cultura da cebola (*Allium cepa* L. var. Pantanoso del Sauce), resultando na combinação cebola-pós-feijão, cebola-pós-milho, cebola-pós-moha e cebola-pós-pousio. Durante o cultivo da cebola, as parcelas receberam diferentes doses de adubação nitrogenada (0, 80 e 120 kg N ha⁻¹), na forma de uréia. A combinação das quatro sucessões de cultura com as três doses de nitrogênio, resultou nos 12 tratamentos avaliados.

Para o cultivo da cebola, o procedimento adotado foi igual ao sistema agro-pastoril, onde o solo passou pelo processo de preparo dos camalhões e na primeira quinzena de agosto ocorreu o transplante das mudas de cebola para as parcelas.

Após a colheita da cebola, os camalhões foram destruídos com o auxílio de uma grade niveladora, com o objetivo de nivelar o terreno para a implantação das culturas de feijão, moha e milho. No anexo 3 está representado o croqui do experimento. Os dois primeiros números (19 a 30) indicam o número da parcela (semelhante ao sistema agro-pastoril) e os números finais (1, 2 ou 3) a sub-parcela que receberam 0, 80 ou 120 kg de N ha⁻¹, respectivamente.

5.4 Coleta das amostras

As coletas foram realizadas em períodos equidistantes e em relação à cultura da cebola. As coletas foram realizadas nos meses de agosto/06 (após o transplante da cebola), em dezembro/06 (antecedendo a colheita da cebola), em março/07 (durante o pousio no sistema agro-pastoril e cultivo das culturas de verão no experimento II) e em julho/07 (após o preparo dos camalhões para implantação da cultura de cebola), totalizando quatro coletas com distintas condições de manejo do solo e culturas. No sistema agro-pastoril, após a terceira coleta, ocorreu o fechamento do ciclo de três anos, ou seja, as três primeiras coletas foram feitas durante o ciclo 2004/2006 (Anexo 2) e a quarta coleta foi realizada no ciclo 2007/2009 (Anexo 1).

Aleatoriamente na parcela e preferencialmente quando o solo se encontrava úmido (estado friável), com auxílio de uma pá de corte, foram coletados duas sub-amostras com estrutura preservada. Isso foi realizado na camada de 0-0,05 m, compondo uma amostra composta para análise de agregados e carbono orgânico em todas as sub-parcelas, totalizando 90 amostras de campo, sendo 54 amostras do sistema agro-pastoril (I) e 36 amostras do culturas de verão (II). Essas amostras foram acondicionadas em caixas plásticas e transportadas para o laboratório de análises físicas do solo pertencente ao departamento de solos da Universidade Federal de Santa Maria.

Para análises das características físico-hídricas do solo, porosidade total, micro e macroporos, condutividade hidráulica saturada, condutividade ao ar, curva

característica de água no solo e densidade do solo foram coletadas amostras em cilindros volumétricos medindo 0,0572 m de diâmetro e 0,04 m de altura, nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m (quatro amostras por camada), somente nas parcelas onde receberam 80 kg ha⁻¹ de adubação nitrogenada, totalizando 240 cilindros em cada coleta. Tomou-se o cuidado para que o centro do cilindro coincidissem com o centro da camada a ser coletada.

Durante a segunda coleta, também foram coletadas amostras deformadas nos mesmos pontos de amostragem dos cilindros para realizar a análise granulométrica do solo (textura), densidade de partículas e a estimativa da retenção de água a -500 e -1500 kPa pelo equipamento de determinação do potencial matricial (WP4).

5.5 Determinações

5.5.1 Distribuição do tamanho de agregados e matéria orgânica do solo

Em laboratório, quando necessário, as amostras de solo foram acondicionadas em caixas de madeiras e/ou sacos plásticos para a perda de umidade até o ponto de friabilidade. Após atingirem a umidade ideal, os agregados foram separados manualmente através de movimentos de tração, obtendo agregados menores que 8 mm e novamente transferidos para caixas de madeiras para secarem ao ar.

A separação e a estabilidade dos agregados em água foram determinados pelo método modificado de Kemper; Chepil (1965), através de tamizamento via úmida e usando toda massa de solo que passa em uma peneira de 8 mm (Figura 2).

Após homogeneização da amostra, foram obtidas três alíquotas de aproximadamente 35g, duas para repetição de laboratório e outra para determinação da umidade pelo método gravimétrico. As amostras foram colocadas em jogo de peneiras com aberturas de malha de 4,76; 2,00; 1,00 e 0,25 mm. Ao colocar a amostra de agregados nas peneiras tomou-se o cuidado para os agregados umedecerem por capilaridade e, após umedecimento completo, foram mergulhadas sob uma pequena lâmina de água por um período de 10 minutos. Em seguida, foi realizado o tamizamento via úmida, com 30 oscilações verticais por minuto e 3,8 cm de amplitude, por um período de 10 minutos. O material retido em cada peneira foi transferido para uma lata previamente pesada e levado à estufa a $\pm 105^{\circ}\text{C}$ por um

período equivalente a 24 horas ou até atingir peso constante. Com isso determinou-se a massa de agregados retidos em cada peneira. Para determinar o material inerte, a massa de agregados foi submersa em uma solução dispersante de NaOH e lavados na mesma peneira, sendo que o material retido foi transferido novamente para lata e levados para estufa para determinação desta fração.

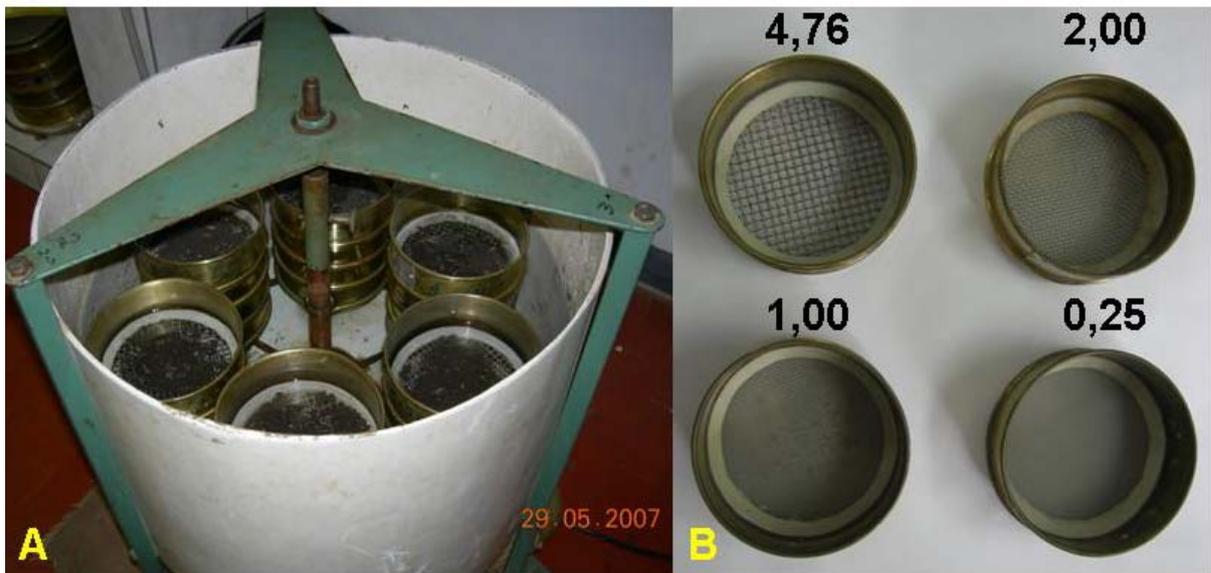


Figura 2 – Aparelho (A) e seqüência de peneiras utilizados: 4,76, 2,00, 1,00 e 0,25 mm (B).

A estabilidade estrutural foi expressa pelo diâmetro médio geométrico úmido (DMGu), e pela percentagem de agregados estáveis em cada classe de tamanho (8,00-4,76; 4,76-2,00; 2,00-1,00; 1,00-0,25 e menor que 0,25mm). A equação utilizada para o cálculo de diâmetro médio geométrico e índice de estabilidade encontram-se abaixo:

$$DMG = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n (AGR_i \times \ln_{(ci)})}{\sum_{i=1}^n AGR_i} \right] \quad (1)$$

onde:

$mAGR_i$ = massa de agregados da classe i (menos areias)

$\sum_{i=1}^n AGR_i$ = massa total de agregados (menos areias)

\ln = logaritmo neperiano

ci = valor médio de classe de agregados i (Ex. classe de 8 a 4,76, $ci = 6,38$)

$$IE = \frac{DMGu}{DMGs} \quad (2)$$

onde:

IE = índice de estabilidade

DMGu = diâmetro médio geométrico úmido (mm)

DMGs = diâmetro médio geométrico seco (mm)

Das amostras utilizadas para determinar a estabilidade de agregados foi separada uma alíquota para determinação do carbono orgânico, sendo determinado pelo método de combustão úmida, modificado e descrito por Rheinheimer et al. (2008). Para calcular o teor de matéria orgânica do solo (MO) utilizou-se a equação abaixo.

$$MO = CO \times 1,724 \quad (3)$$

onde:

MO = matéria orgânica (%)

CO = carbono orgânico (%)

Foi determinada a umidade do solo pelo método gravimétrico. Para isso, obtivemos o peso da amostra úmida e posteriormente o peso da amostra seca, em estufa a $\pm 105^{\circ}\text{C}$, por um período de 24 horas ou até atingir peso constante. A seguinte equação foi utilizada para determinar o teor de água nas amostras.

$$Ug = \frac{(MSU - MSS)}{MSS} \quad (4)$$

onde:

Ug = umidade gravimétrica (g g^{-1})

MSU = massa de solo úmido (g)

MSS= massa de solo seco em estufa a $\pm 105^{\circ}\text{C}$ (g).

5.5.2 Caracterização físico-hídrica do solo

A primeira etapa realizada em laboratório foi o “toailete”, ou seja, ajustar o volume de amostra de solo ao volume do cilindro e realizar a limpeza externa, retirando solo aderido na extremidade do cilindro no momento da coleta. Em seguida, as amostras foram saturadas por capilaridade durante 48 horas, tomando-se o cuidado para evitar o aprisionamento de ar no seu interior. Após a saturação, as amostras passaram por vários processos e equipamentos para determinar as propriedades físico-hídrica do solo, tais como: condutividade hidráulica do solo (K_s), determinação da porosidade total (PT), micro (Mic) e macroporosidade (Mac), umidade do solo equilibrado nos potenciais de -1, -6, -10 e -100 kPa para compor a parte úmida da curva de retenção de água no solo e condutividade ao ar (K_i). Após essa seqüência de análises os cilindros com solo foram levados para estufa a 105°C.

A K_s foi realizada em um permeâmetro de carga variável (Figura 3) conforme descrito em Hartge; Horn (1992). Em cada repetição de campo, foram realizadas três leituras de K_s , para tentar reduzir o coeficiente de variação existente neste tipo de análise. Para calcular a condutividade hidráulica saturada usou-se a equação abaixo:

$$K_s = \frac{2,3 \times a \times h}{A \times t} \times \log\left(\frac{h_0}{h_1}\right) \quad (5)$$

onde:

K_s = condutividade hidráulica saturada (cm s^{-1})

a = área do tubo capilar utilizado (cm^2)

h = altura da amostra (cm)

A = área da amostra (cm^2)

h_0 = altura da carga hidráulica no início da leitura (cm)

h_1 = altura da carga hidráulica no fim da leitura (cm)

t = tempo decorrido entre h_0 e h_1

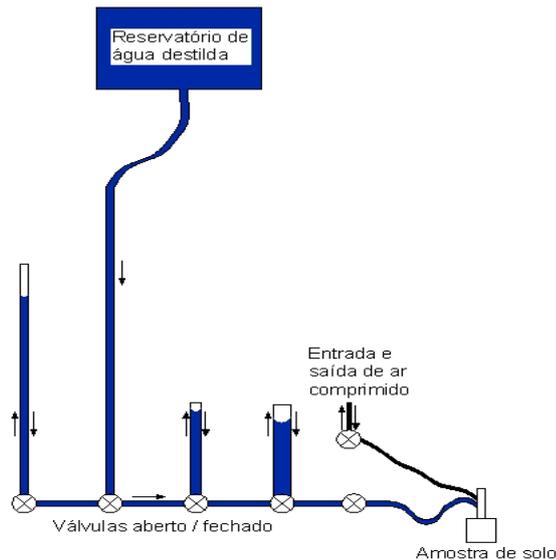


Figura 3 – Equipamento utilizado nas medidas de condutividade hidráulica em amostras indeformadas de solo. Fonte: Brandt, 2008 (arquivo pessoal).

Logo após a análise de K_s , as amostras foram saturadas novamente para iniciar a obtenção da curva de retenção de água no solo (CRA), as quais foram determinadas utilizando o procedimento padrão do laboratório de Física do Solo da UFSM. O método utilizado foi descrito por Richards (1965), onde foram utilizados para tensões mais baixas (0 a 10 kPa), a coluna de areia proposta por Reinert; Reichert (2006) e 100 kPa na câmara de Richards. Os pontos mais secos da CRA (500 e 1500 kPa) foram obtidos no medidor de potencial de água no solo (“Dew point potentiometer” – WP4) da Decagon a partir das amostras peneiradas em malha de 2 mm. Com esta seqüência de equipamentos e pesagens da amostra antes de aplicar a nova tensão, foi determinado a umidade gravimétrica em cada tensão aplicada, a qual multiplicou-se pela densidade do solo obtida através da relação massa de solo seco e o volume ocupado resultando na umidade volumétrica. Com os resultados de umidade volumétrica (θ) no solo equilibrado nas diferentes tensões (ψ), foram ajustadas equações para as diferentes camadas amostradas (0,00-0,10 e 0,10-0,20 m), utilizando o programa computacional SWRC (DOURADO NETO et al., 2000) obteve-se os parâmetros necessários para ajustar a curva conforme a equação proposta por van Genuchten (1980).

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \times h)^n]^m} \quad (6)$$

onde:

θ = umidade atual do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

θ_r = umidade residual do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

θ_s = umidade no ponto de saturação do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

α , m e n são parâmetros de ajuste da equação de van Genuchten

h = módulo do potencial matricial da água do solo (cm).

Em paralelo à CRA, foi analisada a K_l . Para esta análise foi usado um permeâmetro ao ar (Figura 4), onde após a aplicação das tensões de 6 e 10 kPa na coluna de areia, e 100 kPa na câmara de Richards, a amostra foi submetida a análise de K_l . Com base na K_l determinou-se a permeabilidade ao ar (K_a).

Para determinar a K_l é necessário quantificar a passagem de ar pela amostra de solo. Para esta determinação foi utilizado um permeâmetro composto por uma série de fluxímetros com diferentes vazões, os quais possuem uma escala que varia de $0,1 \text{ L min}^{-1}$ até 10 L min^{-1} . O ar chega ao permeâmetro com alta pressão e fluxo turbulento, com o auxílio de uma válvula de precisão a pressão inicial é rebaixada e o fluxo passa para laminar tornando possível a quantificação do ar que no momento da leitura esta passando pela amostra de solo. Para padronizar e todas as amostras serem analisadas na mesma condição, um manômetro de água é utilizado para determinar o momento da leitura do ar em um dos diferentes fluxímetros.

A K_l (cm s^{-1}), é determinada como:

$$K_l = \delta_l g \frac{\Delta V l}{\Delta t \Delta p A} \quad (7)$$

K_a (μm^2) foi calculada pela K_l , utilizando a equação abaixo:

$$K_a = K_l \frac{n}{\delta_l g} \quad (8)$$

onde:

K_a = permeabilidade ao ar (μm^2)

K_f = condutividade ao ar (cm s^{-1});

δ_1 = densidade do ar na hora da medição (kg m^{-3});

g = aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m s}^{-2}$);

ΔV = quantidade de ar que passa pela amostra no Δt (m^3);

L = altura da amostra (m);

Δp = pressão do ar que passa pela amostra (0,1 kPa);

A = área do cilindro (m^2);

η = viscosidade do ar ($\text{g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

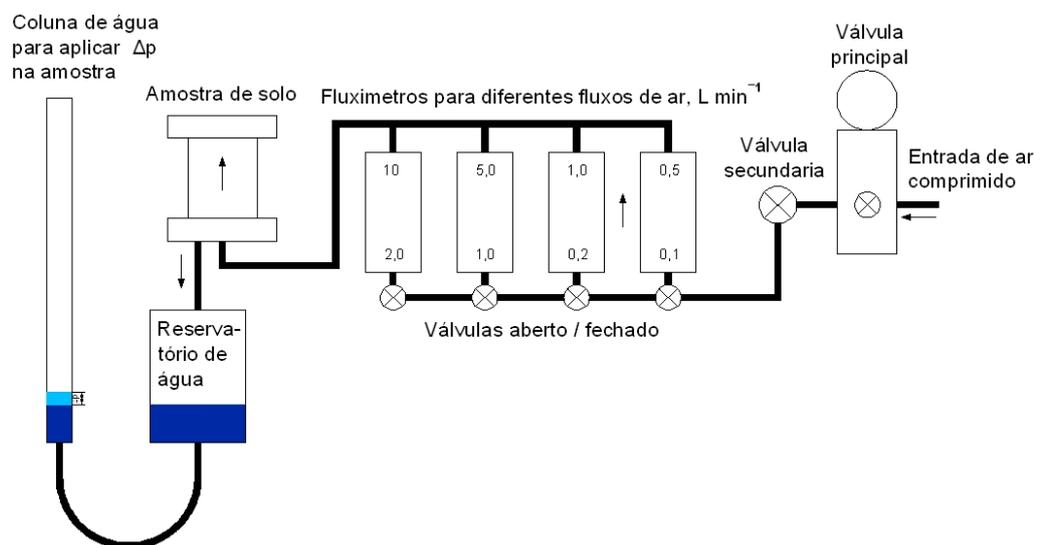


Figura 4 – Equipamento utilizado nas medidas de condutividade ao ar em amostras indeformadas de solo. Fonte: Vossbrink (2005) e modificado por Brandt, 2008 (arquivo pessoal)

A densidade do solo foi determinada utilizando amostras de solo indeformadas coletadas em cilindros volumétricos, seguindo metodologia descrita por Embrapa (1979). O cálculo da densidade foi realizado utilizando a seguinte fórmula.

$$D_s = \frac{MSS}{VC} \quad (9)$$

onde:

D_s = densidade do solo (g cm^{-3})

MSS = massa de solo seco em estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ (g)

VC = volume do cilindro (cm^3).

Para determinar a PT, Mic e Mac foi utilizado o método descrito por Oliveira (1968) onde aproveitou-se as amostras e suas determinadas massas. Para efeito de cálculos utilizou-se as seguintes equações:

$$PT = \left[1 - \left(\frac{Ds}{Dp} \right) \right] \times 100 \quad (10)$$

$$Mic = \left[\frac{(PA_6 - PA_s)}{VC} \right] \times 100 \quad (11)$$

$$Mac = PT - Mic \quad (12)$$

onde:

PT= porosidade total (%)

Mac = macroporosidade (%)

Mic = microporosidade (%)

Ds = densidade do solo (g cm^{-3})

Dp = densidade de partícula (g cm^{-3})

PA₆ = peso da amostra equilibrada a -6 kPa (g)

PA_s = peso da amostra seca a 105° (g)

VC = volume do cilindro (cm^{-3}).

Foi determinada a análise granulométrica pelo método da pipeta (SOIL CONSERVATION SERVICE USDA, 1972). A classificação textural foi realizada pelo sistema brasileiro de classificação do solo (EMBRAPA, 1999) e a densidade de partícula (Dp) pelo método do balão volumétrico modificado (GUBIANI et al., 2006). Os resultados de textura e densidade de partículas do sistema agro-pastoril e do sistema de culturas estão apresentados respectivamente nos apêndices A e B.

5.5.3 Análise estatística

Os resultados foram analisados estatisticamente pela análise da variância e comparação de médias pelo teste de Tukey com probabilidade de erro de 5 %, de para cada época de coleta, utilizando o pacote estatístico SAS. Em cada época foram testados os efeitos principais de cada fator, bem como a interação. Para o fator nitrogênio foi considerada sua presença no sistema de cultivo, independente de ter havido ou não aplicação no período desse estudo. Dessa forma, nas parcelas onde não foi aplicado nitrogênio (alfafa, festuca e consórcio de pastagens do sistema agro-pastoril), consideraram-se na análise os níveis de nitrogênio (sub-parcelas) que haviam sido aplicados no cultivo da cebola do triênio anterior.

Para análise temporal, foi considerado o seguinte:

a) Análise de agregados e matéria orgânica do solo: bi fatorial com parcelas subdivididas no espaço e três repetições. Parcelas principais: sucessões de culturas; Sub-parcelas: doses de nitrogênio.

b) Análise das propriedades físico-hídricas do solo: bi fatorial com parcelas subdivididas no espaço e três repetições. Parcelas principais: sucessões de culturas; Sub-parcelas: camadas de solos analisadas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Estudo 1 - Avaliação da qualidade estrutural e teor de matéria orgânica do solo

6.1.1 Sistema agro-pastoril

O DMGs não apresentou interação significativa entre tratamento e época de coleta. Analisando (Tabela 1, 2 e 3), pode-se verificar que as parcelas cultivadas com alfafa, festuca e consórcio apresentam tendência a terem valores maiores de DMGs, DMGu e IE, quando comparadas com as demais parcelas cultivadas com cebola, pois a ação mecânica dos implementos no momento do preparo do solo para construção do camalhão mobiliza o solo reduzindo o tamanho médio dos agregados. Basso; Reinert (1998) estudando o efeito de plantas de cobertura na estabilidade estrutural do solo relataram que o manejo da palhada utilizando grade rotativa ocasionou uma redução ao redor de 33% do DMG dos agregados do solo. Silva et al. (2005), estudando o efeito do preparo do solo, tomando como referência o campo nativo não encontrou diferença significativa em relação à lavoura manejada sob plantio direto há dezessete anos, porém encontrou resultados superiores em relação ao plantio convencional, onde ocorre o intenso preparo do solo. As parcelas que não receberam adubação nitrogenada ($0 \text{ kg de N ha}^{-1}$) apresentaram interação significativa dos valores de DMGu entre tratamentos e épocas de coleta (Tabela 2). O DMGu segue a mesma tendência do DMGs, porém com valores menores, devido à força desagregante aplicada pela água no método de determinação. Os tratamentos cultivados com pastagem apresentaram valores superiores aos tratamentos onde se cultivou cebola, porém estatisticamente os três tratamentos ainda não se diferenciaram. Essa diferença é resultante da ausência de preparo por um período equivalente há três anos nas parcelas cultivadas com pastagem e ou o intenso preparo anual do solo nas parcelas cultivadas com cebola, associadas ao período em que parte do ano o solo permanece apenas com a vegetação espontânea, pois no verão essas parcelas não recebem uma cultura com interesse econômico.

Em todos os tratamentos e sub-tratamentos ($0, 80 \text{ e } 120 \text{ kg N ha}^{-1}$), a segunda coleta foi a que apresentou valores mais acentuados de DMGu, devido a elevada

resiliência (capacidade que o solo possui em se reestruturar) que este tipo de solo possui.

Tabela 1 – Diâmetro médio geométrico seco (DMGs mm) nos diferentes tratamentos determinados em quatro épocas.

Época referente ao cultivo da cebola	Tratamentos						
	Cultivo Anterior						Média
	Cebola	Cebola	Cebola	Alfafa	Festuca	Consórcio	
	Cultivo Atual						
	Alfafa	Festuca	Consórcio	Cebola	Cebola	Cebola	
0 kg de N ha⁻¹							
Pós transplante	4,05	3,84	3,55	3,42	3,09	2,92	3,48a
Antes da colheita	2,70	3,41	3,13	2,71	2,12	3,01	2,85bc
Pousio	3,60	3,42	3,48	2,92	2,82	2,77	3,17ab
Preparo camalhão	3,00	2,73	2,32	2,64	2,46	2,58	2,62c
Média	3,34a	3,35a	3,12ab	2,92ab	2,62b	2,82ab	
80 kg de N ha⁻¹							
Pós transplante	3,77	4,15	3,32	2,86	3,34	2,99	3,41a
Antes da colheita	3,03	3,28	3,26	2,71	2,86	3,31	3,07ab
Pousio	3,71	3,85	3,31	2,64	3,39	3,09	3,33a
Preparo camalhão	2,89	3,01	2,88	2,59	2,72	2,61	2,78b
Média	3,31ab	3,52a	3,18abc	2,68c	3,05abc	3,00bc	
120 kg de N ha⁻¹							
Pós transplante	4,02	3,49	3,33	2,74	3,67	3,56	3,47a
Antes da colheita	3,67	3,34	3,73	2,31	2,97	3,34	3,22a
Pousio	3,58	3,67	3,49	2,48	3,58	2,71	3,25a
Preparo camalhão	3,04	2,69	2,52	2,47	2,59	2,50	2,64b
Média	3,58a	3,30a	3,27a	2,50b	3,20a	3,03ab	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

Tabela 2 – Diâmetro médio geométrico úmido (DMGu mm) nos diferentes tratamentos determinados em quatro épocas.

Época referente ao cultivo da cebola	Tratamentos						
	Cultivo Anterior						Média
	Cebola	Cebola	Cebola	Alfafa	Festuca	Consórcio	
	Cultivo Atual						
	Alfafa	Festuca	Consórcio	Cebola	Cebola	Cebola	Média
0 kg de N ha⁻¹							
Pós transplante	0,69Ba	1,04Aa	0,93Ba	0,52Aa	0,39Aa	0,40Aa	0,66
Antes da colheita	2,67Aab	1,88Abc	3,28Aa	1,48Abc	0,99Ac	0,98Ac	1,88
Pousio	1,11Babc	1,77Aab	2,26ABa	0,52Ac	0,66Abc	0,56Ac	1,15
Preparo camalhão	0,97Ba	0,86Aa	1,12Ba	0,54Aa	0,53Aa	0,41Aa	0,74
Média	1,36	1,39	1,90	0,76	0,64	0,59	
80 kg de N ha⁻¹							
Pós transplante	1,23	1,42	0,86	0,51	0,30	0,33	0,78B
Antes da colheita	3,12	3,63	3,63	1,92	1,23	1,48	2,50A
Pousio	1,30	2,15	1,56	0,74	0,86	0,64	1,21B
Preparo camalhão	1,43	1,01	1,43	0,72	0,52	0,75	0,98B
Média	1,77a	2,06a	1,87a	0,97b	0,73b	0,80b	
120 kg de N ha⁻¹							
Pós transplante	1,00	1,09	1,09	0,25	0,36	0,28	0,69C
Antes da colheita	3,16	2,92	3,00	2,10	1,16	1,31	2,27A
Pousio	1,23	1,71	1,82	0,67	0,53	0,67	1,10B
Preparo camalhão	1,20	1,06	1,01	0,51	0,48	0,55	0,80BC
Média	1,65a	1,70a	1,73a	0,88b	0,63b	0,70b	

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

Quando realizamos a relação entre o DMGu e DMGs obtemos o IE. Este índice nos mostra a capacidade que o solo tem em resistir às ações desagregantes, ou seja, quanto maior for o índice maior a resistência do solo à desagregação. Os tratamentos que foram cultivados com cebola, onde o revolvimento do solo foi empregado nos últimos três anos, apresentaram valores inferiores de IE quando comparamos com os demais tratamentos (Tabela 3). Nos tratamentos cultivados com pastagens (alfafa, festuca e consórcio), durante o mesmo período (três primeiras coletas), não ocorreu preparo do solo mantendo o solo coberto por todo o período, sendo este o fator, e que associado ao não revolvimento do solo ocasionou um pequeno acréscimo de material orgânico, e conseqüentemente um incremento da matéria orgânica do solo cultivado com pastagem, tornando um solo mais estável, sendo esta estabilidade explicada pelo maior valor de IE encontrados nesses tratamentos.

Tabela 3 – Índice de estabilidade (IE) nos diferentes tratamentos determinados em quatro épocas.

Época referente ao cultivo da cebola	Tratamentos						
	Cultivo Anterior						
	Cebola	Cebola	Cebola	Alfafa	Festuca	Consórcio	
	Cultivo Atual						
	Alfafa	Festuca	Consórcio	Cebola	Cebola	Cebola	Média
0 kg de N ha⁻¹							
Pós transplante	0,17Ba	0,28Aa	0,26Ba	0,16Aa	0,14Aa	0,15Aa	0,19
Antes da colheita	1,02Aa	0,60Aab	1,05Aa	0,55Ab	0,47Ab	0,33Ab	0,67
Pousio	0,32Ba	0,52Aa	0,66ABa	0,18Aa	0,23Aa	0,20Aa	0,33
Preparo camalhão	0,33Ba	0,31Aa	0,49B	0,20Aa	0,23Aa	0,16A	0,29
Média	0,49	0,44	0,64	0,28	0,28	0,21	
80 kg de N ha⁻¹							
Pós transplante	0,35	0,34	0,27	0,21	0,09	0,12	0,23B
Antes da colheita	1,03	1,10	1,12	0,70	0,43	0,44	0,80A
Pousio	0,35	0,57	0,47	0,29	0,29	0,21	0,36B
Preparo camalhão	0,50	0,34	0,47	0,28	0,19	0,30	0,35B
Média	0,58a	0,61a	0,61a	0,38ab	0,27b	0,28b	
120 kg de N ha⁻¹							
Pós transplante	0,25	0,31	0,33	0,10	0,10	0,08	0,20B
Antes da colheita	0,89	0,94	0,82	0,86	0,39	0,41	0,72A
Pousio	0,35	0,48	0,52	0,28	0,15	0,25	0,34B
Preparo camalhão	0,41	0,39	0,40	0,22	0,19	0,22	0,30B
Média	0,52ab	0,55a	0,53a	0,42abc	0,22c	0,25bc	

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%,

Na tabela 4, é apresentado o valor médio do teor de MO nos diferentes tratamentos e para as diferentes épocas de coleta. Constatou-se que os resultados não apresentaram interação significativa entre época e tratamento. As parcelas cultivadas com pastagem apresentaram um pequeno acréscimo em relação às parcelas cultivadas com cebola, demonstrando que o efeito dos sistemas de manejo no cultivo da cebola influenciou os teores de matéria orgânica do solo. Entretanto, nessa classe de solo o teor de MO parece não ser fortemente afetado pelo manejo do solo. A redução do teor de MO nas parcelas cultivadas com cebola se deve ao revolvimento da camada superficial do solo pela aração. Esse comportamento era esperado, pois nas parcelas não revolvidas, o cultivo de pastagem ocasiona uma maior deposição de material orgânico na superfície do solo, aumentando a cobertura do solo enquanto que nas parcelas cultivadas com cebola o material orgânico adicionado ao sistema é em menores quantidades e o preparo convencional

incorpora esse material ao solo, acelerando o processo de decomposição e com isso a redução do teor de MO.

O tratamento onde se cultivou alfafa, festuca e consórcio de pastagens apresentaram teores superiores de MO quando comparados com os demais tratamentos. Este maior teor é explicado devido aos efeitos positivos que culturas permanentes causam no solo, essencialmente pela adição de material orgânico pelo sistema radicular e pelo aporte superficial via biomassa depositada na superfície ao longo do tempo.

As diferentes doses de nitrogênio aplicadas nos sub-tratamentos não causaram diferença significativa quando avaliamos o teor de MO do solo nos diferentes tratamentos.

Tabela 4 – Teor de matéria orgânica do solo (MO%) nos diferentes tratamentos determinados em quatro épocas.

Época referente ao cultivo da cebola	Tratamentos						
	Cultivo Anterior						Média
	Cebola	Cebola	Cebola	Alfafa	Festuca	Consórcio	
	Cultivo Atual						
	Alfafa	Festuca	Consórcio	Cebola	Cebola	Cebola	
	0 kg de N ha⁻¹						
Pós transplante	3,44	3,33	3,73	3,37	3,03	3,18	3,33ab
Antes da colheita	3,56	3,54	3,88	3,18	3,04	3,31	3,42a
Pousio	3,09	3,17	3,43	3,14	2,92	3,04	3,13b
Preparo camalhão	3,29	3,28	3,28	3,06	2,97	2,99	3,15b
Média	3,34ab	3,33ab	3,57a	3,17bc	2,99c	3,13bc	
	80 kg de N ha⁻¹						
Pós transplante	3,47	3,33	3,73	3,37	2,89	2,98	3,33ab
Antes da colheita	3,53	3,54	3,88	3,18	3,12	3,16	3,47a
Pousio	3,11	3,17	3,43	3,14	2,99	3,04	3,12b
Preparo camalhão	3,33	3,28	3,28	3,06	2,90	2,88	3,12b
Média	3,33ab	3,33ab	3,57a	3,17bc	2,98c	3,02c	
	120 kg de N ha⁻¹						
Pós transplante	3,61	3,33	3,73	3,37	3,19	3,03	3,34ab
Antes da colheita	3,43	3,54	3,88	3,18	3,22	3,32	3,40a
Pousio	3,22	3,17	3,43	3,14	2,98	2,95	3,06c
Preparo camalhão	3,29	3,28	3,28	3,06	2,86	2,95	3,15bc
Média	3,37ab	3,33ab	3,57a	3,17bc	3,05c	3,07c	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

Nas figuras 5 e 6 está representada a distribuição do tamanho de agregados estáveis em água nos diferentes tratamentos e épocas de coleta. Analisando isoladamente cada época de coleta, podemos verificar que, nos tratamentos cultivados com pastagens (alfafa, festuca e consórcio), a concentração de agregados na classe entre 8,00-4,76 mm é maior quando comparado com os demais tratamentos.

A variação de agregados pertencentes às classes intermediárias (4,76-2,00 e 2,00-1,00 mm) é pequena entre os diferentes tratamentos, bem como é pequena entre tratamentos onde foram testadas as diferentes doses de nitrogênio. Na classe inferior (agregados < 0,25 mm) ocorre um acréscimo na percentagem de agregados, sendo este acréscimo mais expressivo nos tratamentos cultivados com cebola.

Na primeira coleta (Figura 5a), podemos verificar que a maior concentração de agregados ocorreu na menor classe, principalmente nas parcelas cultivadas com cebola onde mais de 50% dos agregados apresentaram um diâmetro < 0,25 mm. Este resultado se deve ao preparo do solo e construção do camalhão para posteriormente realizar o transplante das mudas de cebola. A classe intermediária (2,00-1,00 mm) não apresentou diferença estatística entre os tratamentos e sub-tratamentos. Na época 2 (Figura 5b), ocorre o inverso, e todos os tratamentos apresentaram a maior concentração de seus agregados na classe entre 8,00-4,76 mm, mostrando que a análise da distribuição dos agregados é variável com o tempo e o manejo afeta os resultados. Nos tratamentos onde o preparo convencional foi empregado, a percentagem de agregados < 0,25 mm na segunda coleta é menor quando comparado com a percentagem de agregados da mesma classe na primeira coleta, essa variação ocorrida entre as duas coletas demonstra a alta capacidade que solos com predomínio de minerais 2:1 possuem em se reestruturar, em outras palavras, uma elevada resiliência.

Na época 3 (Figura 6a), as parcelas cultivadas com pastagens mantiveram uma considerável percentagem de agregados na maior classe, mostrando a importância da ausência de preparo do solo associada à cobertura vegetal, ocasionando a manutenção dos agregados do solo, pois impede que a água da chuva e/ou irrigação entre em contato com os agregados do solo ocasionando a sua desagregação. As parcelas destinadas à cultura da cebola nesta época permaneceram em pousio, onde a vegetação espontânea é muito rala e grande parte da superfície do solo fica descoberta, ficando sujeito à ação negativa causada pelo impacto da gota de chuva durante as chuvas e a maior perda de água por

evaporação nos períodos com sol. Em solos com características vérticas, ocorrem ciclos de umedecimento e secagem, onde a massa de solo se expande e contrai, sugerindo que o manejo da água também pode afetar o tamanho médio dos agregados e conseqüentemente a sua distribuição nas diferentes classes de tamanho.

Antecedendo a 4ª coleta, todos os tratamentos receberam o preparo convencional, sendo esta a principal razão do aumento da porcentagem de agregados nas classes inferiores (Figura 6b), demonstrando que agregados menores resistem à ação desagregadora do impacto da gota de chuva e/ou dos implementos utilizados no preparo do solo, enquanto agregados maiores são transformados em menores. Soares et al. (2005) afirma que em áreas cultivadas ocorre um predomínio de agregados menores que 1 mm, pois eles são mais estáveis ao rápido umedecimento e resistem à ação abrasiva dos implementos agrícolas.

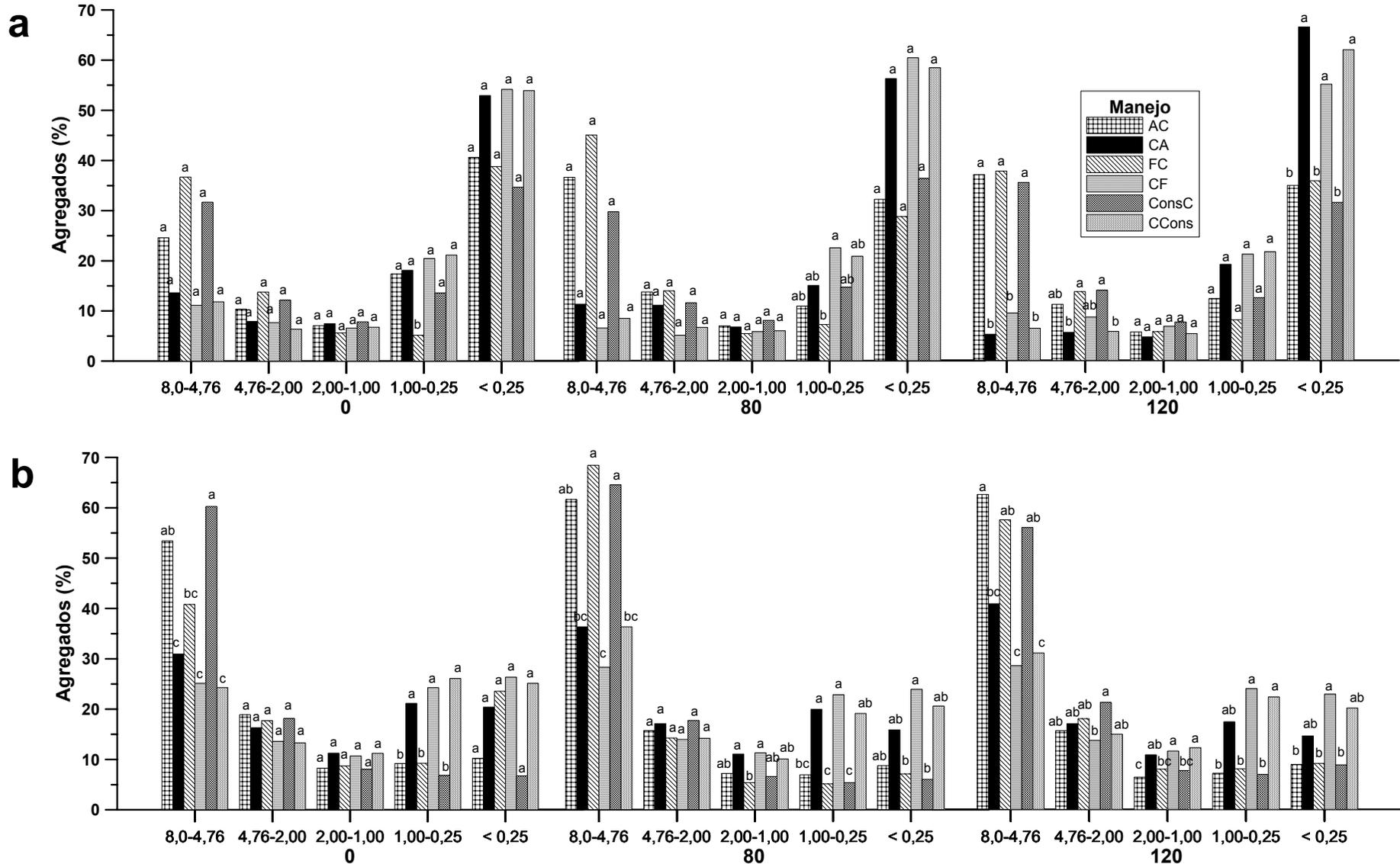


Figura 5 – Distribuição do tamanho de agregados na primeira (a) e na segunda coleta (b) para os diferentes tratamentos: AC – alfafa pós cebola; CA – cebola pós alfafa; FC – festuca pós cebola; CF – cebola pós festuca; ConsC – Consórcio de pastagens pós cebola e CCons – cebola pós consórcio de pastagens e doses de nitrogênio: 0, 80 e 120 kg N ha⁻¹.

Letras iguais não diferem entre si nos diferentes tratamentos pelo teste de Tukey a 5%.

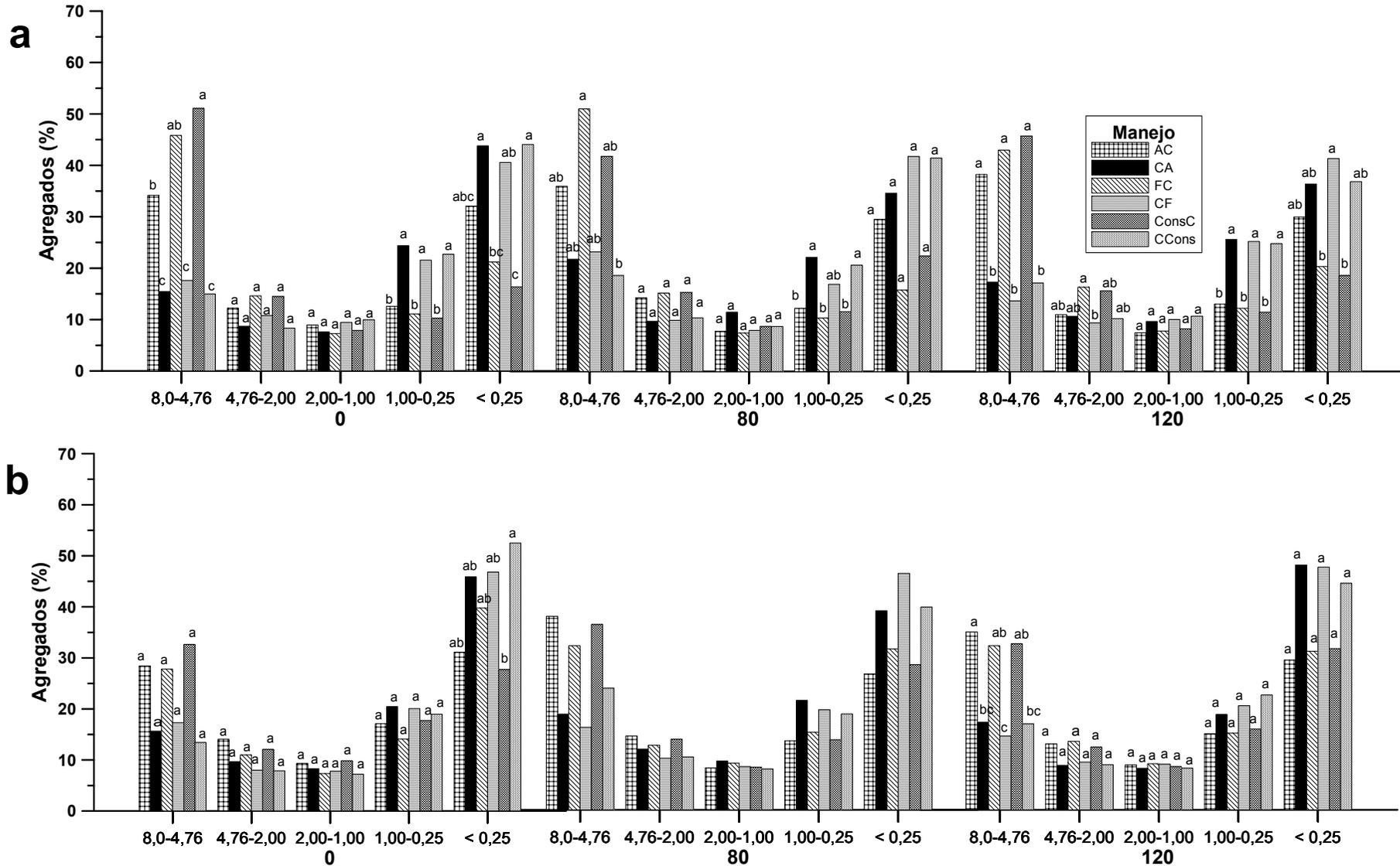


Figura 6 – Distribuição do tamanho de agregados na terceira (a) e na quarta coleta (b) para os diferentes tratamentos: AC – alfafa pós cebola; CA – cebola pós alfafa; FC – festuca pós cebola; CF – cebola pós festuca; ConsC – Consórcio de pastagens pós cebola e CCons – cebola pós consórcio de pastagens e doses de nitrogênio: 0, 80 e 120 kg N ha⁻¹. Letras iguais não diferem entre si nos diferentes tratamentos pelo teste de Tukey a 5%.

6.1.2 Culturas de verão

No estudo do efeito de culturas de verão (feijão, milho e moha) e pousio intercaladas com a cultura da cebola no inverno sob cultivo convencional, os resultados mostraram que o maior teor de MO, favorecida pela adição de adubos orgânicos, resultou numa melhoria da estabilidade estrutural do solo quando comparada com as culturas de verão. Essa melhoria pode ser explicada pelo maior valor do DMGs e DMGu (Tabelas 5 e 6 respectivamente). Resultados semelhantes foram encontrados por Tisdall; Oades (1982), Castro Filho et al. (1998) e Gang et al. (1998).

Comparando apenas os tratamentos com cultivo no verão, pode-se verificar que o cultivo de moha, em todas as épocas estudadas, apresentou um maior DMGu, demonstrando assim a maior eficiência do sistema radicular das gramíneas, pois possuem uma maior densidade de raízes, podendo assim abranger uma área maior de solo favorecendo a formação e estabilização dos agregados do solo. Em contrapartida, o solo com cultivo de feijão apresentou os menores valores de DMGu, o que pode estar associado à menor eficiência do sistema radicular das leguminosas quando comparadas com gramíneas e, principalmente, ao menor aporte de material orgânico, pois a cultura enfrentou condições adversas para bom desenvolvimento acarretando uma baixa produção de matéria seca por hectare e conseqüentemente o aporte de material orgânico foi reduzido. Nas parcelas cultivadas com milho o DMGs e o DMGu apresentaram valores intermediários.

Estudando sistemas de manejos com alta e baixa produtividade, Santi (2007) encontrou resultados que seguem a mesma tendência, onde parcelas com maior produção ocasionaram um incremento na estabilidade dos agregados, confirmando a importância da vegetação e seus resíduos na formação, estabilização e proteção dos agregados contra o impacto da chuva e variações bruscas de umidade. Harris et al. (1966), afirma que o aporte de material orgânico, quer que por secreções radiculares, quer por renovação do sistema radicular e da parte aérea, dos resíduos da colheita ou fontes externas de carbono, serve de energia para atividade microbiana, cujos subprodutos, contidos de moléculas orgânicas em diversas fases de decomposição, atuam como agentes de formação e estabilização dos agregados

O DMGs não apresentou interação significativa entre tratamento e época de coleta (Tabela 5). Analisando um tratamento isolado nas diferentes épocas coletadas ou a média dos tratamentos em uma determinada época, pode-se verificar pequena variação, indicando pequena sensibilidade dessa medição; no entanto, é necessária para o cálculo do IE.

Tabela 5 – Diâmetro médio geométrico seco (DMGs mm) nos diferentes tratamentos determinados em quatro épocas.

Época referente ao cultivo da cebola	Tratamentos				Média
	Feijão	Pousio	Moha	Milho	
0 kg de N ha⁻¹					
Pós transplante	3,95	4,19	3,21	3,36	3,68ab
Antes da colheita	3,46	3,23	3,23	2,67	3,15b
Cultura verão	3,72	3,72	3,90	3,74	3,77a
Preparo camalhão	3,97	3,39	3,63	3,81	3,70ab
Média	3,78a	3,63a	3,49a	3,40a	
80 kg de N ha⁻¹					
Pós transplante	3,57	3,38	3,58	3,73	3,56a
Antes da colheita	2,84	3,08	3,16	2,67	2,94b
Cultura verão	3,09	3,63	3,74	3,99	3,61a
Preparo camalhão	3,63	3,62	4,06	3,89	3,80a
Média	3,28a	3,43a	3,63a	3,57a	
120 kg de N ha⁻¹					
Pós transplante	2,95	3,21	3,85	3,74	3,44a
Antes da colheita	3,28	2,93	3,43	3,28	3,23a
Cultura verão	2,61	3,44	3,50	3,94	3,37a
Preparo camalhão	3,36	3,48	3,94	4,09	3,72a
Média	3,05b	3,27ab	3,68a	3,76a	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

O DMGu, assim como o DMGs, não apresentou interação significativa entre tratamento e época de coleta. O tratamento que permaneceu em pousio apresentou resultados superiores de DMGu seguidos da cultura da moha, milho e feijão, ou seja, os resultados apresentaram uma maior variação entre os tratamentos mas com a mesma tendência, onde o tratamento que recebeu a adubação orgânica (pousio) com conseqüente aumento do teor de MO foi o tratamento que demonstrou valores superiores de DMGu.

Empregar no campo práticas que envolvam manejo de solo associadas às culturas com maior produção de massa seca e, conseqüentemente um incremento

de material orgânico ao sistema estamos minimizando os efeitos danosos ao solo e induzindo uma melhoria na sua estrutura. O tratamento que permaneceu em pousio estival com adubação orgânica foi o tratamento que apresentou valores superiores de MO, que esteve associado a agregados mais estáveis, indicado pelo maior valor de DMGu e IE (Tabela 6 e 7, respectivamente).

Tabela 6 – Diâmetro médio geométrico úmido (DMGu mm) nos diferentes tratamentos determinados em quatro épocas.

Época referente ao cultivo da cebola	Tratamentos				Média
	Feijão	Pousio	Moha	Milho	
0 kg de N ha⁻¹					
Pós transplante	0,28	0,50	0,45	0,37	0,44b
Antes da colheita	0,64	2,07	1,32	1,17	1,30a
Cultura verão	0,25	0,79	0,69	0,40	0,53b
Preparo camalhão	1,04	1,83	1,07	1,03	1,24a
Média	0,55b	1,30a	0,88ab	0,78b	
80 kg de N ha⁻¹					
Pós transplante	0,29	0,43	0,43	0,44	0,40b
Antes da colheita	1,13	2,12	1,49	1,09	1,46a
Cultura verão	0,47	0,87	0,69	0,29	0,58b
Preparo camalhão	0,60	1,68	1,24	0,92	1,11a
Média	0,62b	1,27a	0,96ab	0,69b	
120 kg de N ha⁻¹					
Pós transplante	0,42	0,40	0,71	0,39	0,46b
Antes da colheita	1,16	1,75	1,54	1,26	1,43a
Cultura verão	0,34	0,39	1,03	0,46	0,56b
Preparo camalhão	0,55	2,00	1,33	1,37	1,31a
Média	0,62b	1,12a	1,15a	0,87ab	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

A variação no DMGu foi o parâmetro responsável pela variação do IE entre os tratamentos. Assim tratamentos com maior teor de matéria orgânica e, conseqüentemente, um maior valor de DMGu foram os que apresentaram os maiores IE.

Comparando o mesmo tratamento, nas diferentes épocas de coleta, pode-se verificar que a segunda coleta apresentou valores superiores de IE, sendo esta melhoria na agregação resultante da capacidade que o solo tem em se rearranjar, pois solos com características vérticas possuem uma boa capacidade de resiliência.

Além do teor de MO, o tipo de material orgânico adicionado pelos diferentes cultivos e a adição de cama de aviário no tratamento com adubação orgânica explicam as diferenças nos parâmetros analisados. Segundo Silva (1997), em um curto espaço de tempo, a estabilidade dos agregados de um solo modifica-se pela influência de diferentes sistemas de manejo e está mais relacionada a mudanças nos tipos de constituintes orgânicos do que no conteúdo total de matéria orgânica. Essa é apenas uma hipótese, para afirmar que a variação no tipo de material orgânico acarreta variação no tamanho, forma e estabilidade dos agregados.

Tabela 7 – Índice de estabilidade (IE) nos diferentes tratamentos determinados em quatro épocas.

Época referente ao cultivo da cebola	Tratamentos				Média
	Feijão	Pousio	Moha	Milho	
0 kg de N ha⁻¹					
Pós transplante	0,07	0,12	0,15	0,11	0,11b
Antes da colheita	0,19	0,61	0,41	0,41	0,41a
Cultura verão	0,07	0,23	0,17	0,11	0,14b
Preparo camalhão	0,26	0,55	0,29	0,27	0,34a
Média	0,15b	0,38a	0,26ab	0,24b	
80 kg de N ha⁻¹					
Pós transplante	0,08	0,13	0,12	0,12	0,11c
Antes da colheita	0,41	0,66	0,47	0,41	0,49a
Cultura verão	0,15	0,24	0,19	0,07	0,17bc
Preparo camalhão	0,16	0,44	0,31	0,24	0,29b
Média	0,20b	0,37a	0,27ab	0,21b	
120 kg de N ha⁻¹					
Pós transplante	0,15	0,12	0,18	0,11	0,14b
Antes da colheita	0,38	0,59	0,44	0,38	0,45a
Cultura verão	0,15	0,11	0,31	0,12	0,17b
Preparo camalhão	0,17	0,57	0,34	0,32	0,35a
Média	0,21b	0,37a	0,32ab	0,23ab	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

O preparo convencional do solo, além de reduzir o tamanho médio dos agregados e, conseqüentemente, a sua estabilidade, altera a dinâmica da matéria orgânica, pois incorpora o material orgânico ao solo aumentando a taxa de decomposição. A tabela 8 apresenta os teores de MO nos diferentes tratamentos, bem como nas quatro épocas analisadas.

O tratamento que recebeu anualmente uma carga equivalente a 10 Mg ha⁻¹ de cama de aviário apresentou o maior teor de MO e com uma diferença significativa quando comparado com os demais tratamentos. Nos tratamentos onde se cultivaram moha e milho, os teores de MO foram intermediários, o que pode estar associado a maior densidade de raízes encontradas no cultivo de gramíneas. A cultura do feijão encontrou, durante todo o seu ciclo, condições desfavoráveis para seu bom desenvolvimento, não podendo completar o seu ciclo. Essa baixa produção de matéria seca pode ter sido o fator primordial para que este tratamento tenha apresentado os menores teores de MO.

Antecedendo a quarta coleta, todas as parcelas receberam o preparo do solo e construção do camalhão, ou seja, palhada e restos culturais da cultura de verão foram incorporados no solo, resultando em um pequeno incremento no teor de matéria orgânica do solo.

Tabela 8 – Teor de matéria orgânica do solo (MO%) nos diferentes tratamentos determinados em quatro épocas.

Época referente ao cultivo da cebola	Tratamentos				Média
	Feijão	Pousio	Moha	Milho	
0 kg de N ha⁻¹					
Pós transplante	2,53	3,23	2,72	2,60	2,79a
Antes da colheita	2,53	3,15	2,68	2,71	2,77a
Cultura verão	2,40	3,03	2,66	2,53	2,65a
Preparo camalhão	2,80	3,08	2,69	2,65	2,81a
Média	2,57b	3,12a	2,69b	2,63b	
80 kg de N ha⁻¹					
Pós transplante	2,51	3,12	2,96	2,77	2,84a
Antes da colheita	2,66	3,12	2,81	2,71	2,82a
Cultura verão	2,62	3,00	2,83	2,56	2,75a
Preparo camalhão	2,49	3,10	2,63	2,67	2,72a
Média	2,57c	3,09a	2,81b	2,68bc	
120 kg de N ha⁻¹					
Pós transplante	2,53	3,08	2,78	2,78	2,79ab
Antes da colheita	2,62	3,13	2,87	2,74	2,84a
Cultura verão	2,47	2,90	2,71	2,51	2,65b
Preparo camalhão	2,47	3,04	2,69	2,57	2,69ab
Média	2,52c	3,04a	2,76b	2,65bc	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

As figuras 7 e 8 indicam que a distribuição do tamanho de agregados, em geral, apresentou uma pequena variação entre os tratamentos, quando analisamos uma determinada época, pois a ação mecânica do preparo do solo e construção do camalhão supera os efeitos que as diferentes culturas poderiam ocasionar ao solo, ou seja, a estrutura do solo possui uma estreita relação com o manejo do solo adotado.

Na camada estudada, a alta concentração de agregados nas classes inferiores (< 2 mm) está associada ao preparo intensivo do solo juntamente com a construção do camalhão para implantação da cebola, onde grande parte dos agregados passou pela peneira de 0,25 mm. Resultado semelhante foi encontrado por Soares et al. (2005). Na segunda coleta, devido à alta resiliência que solos com minerais 2:1 possuem associada ao efeito da cultura, ocorrem um acréscimo considerável na porcentagem de agregados que ficaram retidos nas peneiras maiores (4,76 e 2,00 mm) e, conseqüentemente, uma redução na quantidade de agregados que passou pela peneira de 0,25 mm. A classe de agregados que passou pela peneira de 2,00 mm e ficou retido na peneira de 1,00 mm também apresentou um pequeno acréscimo, porém com uma pequena amplitude quando comparado com as classes superiores a esta.

Antecedendo a semeadura das culturas de verão os camalhões que antes estavam com a cultura da cebola foram desmanchados e a superfície do solo foi nivelada para ocorrer à implantação das culturas de verão. Esse “preparo reduzido” do solo é o principal fator que explica mais uma vez a crescente porcentagem de agregados na classe inferior. Também podemos verificar que, nos tratamentos onde foi adicionado adubo orgânico (pousio) e cultivado a gramínea moha, a redução na classe de agregados entre 8,00-4,76 mm é menos impactante. Essa maior resistência se deve ao efeito da matéria orgânica na formação e estabilização dos agregados nas parcelas que receberam a cama de aviário e ao efeito benéfico que a gramínea moha proporciona a estrutura do solo.

Ao contrário do que se esperava, os resultados encontrados nas análises referente à quarta coleta não foram muito diferentes da coleta anterior, pois o solo recebeu um preparo inicial mas a construção dos camalhões ainda estava por acontecer, o que pode explicar a alta concentração de agregados na classe superior.

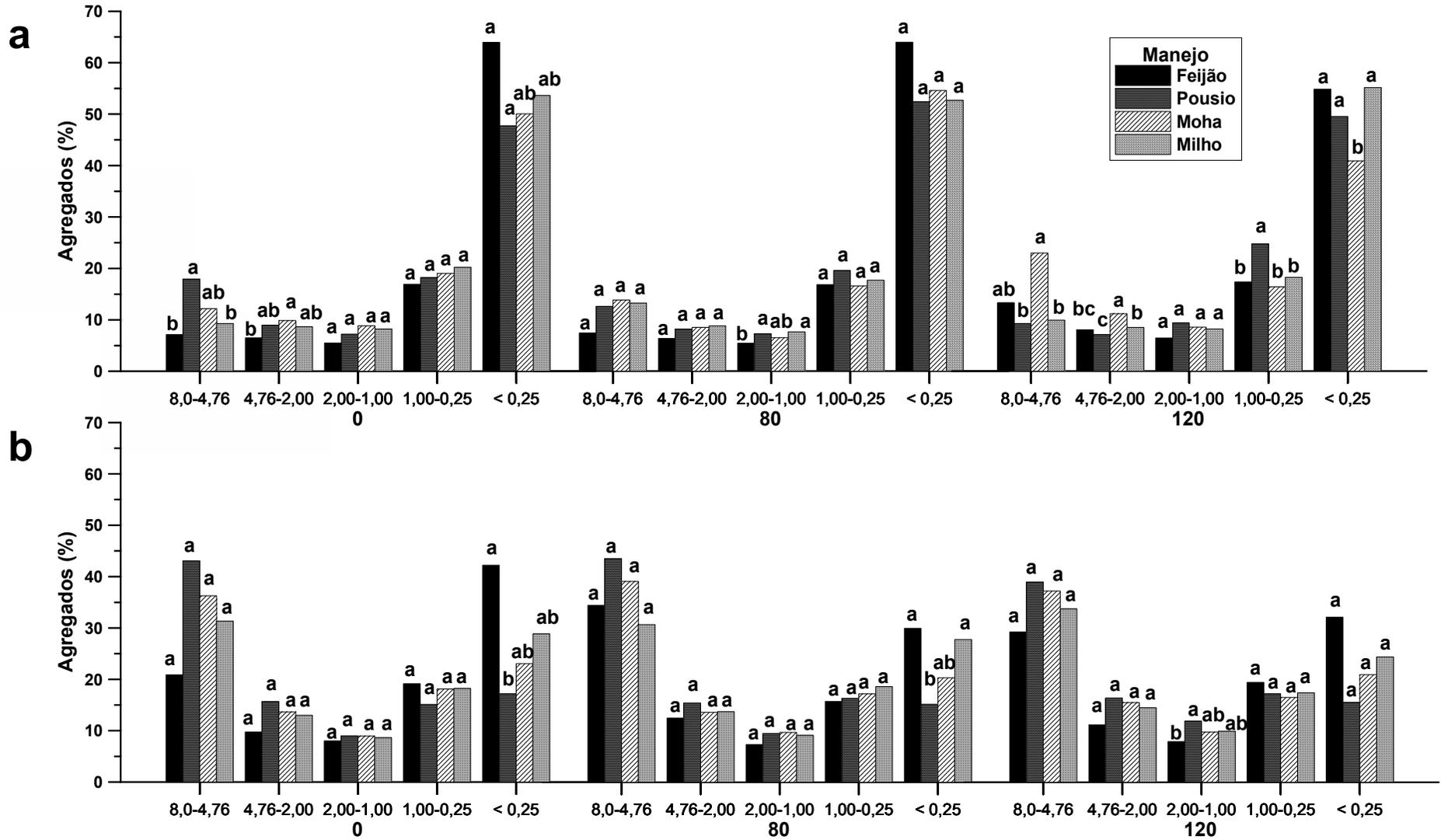


Figura 7 – Distribuição do tamanho de agregados na primeira (a) e na segunda coleta (b) para os diferentes tratamentos: feijão, pousio, moha e milho e doses de nitrogênio: 0, 80 e 120 kg N ha⁻¹. Letras minúsculas não diferem entre si nos diferentes tratamentos pelo teste de Tukey a 5%.

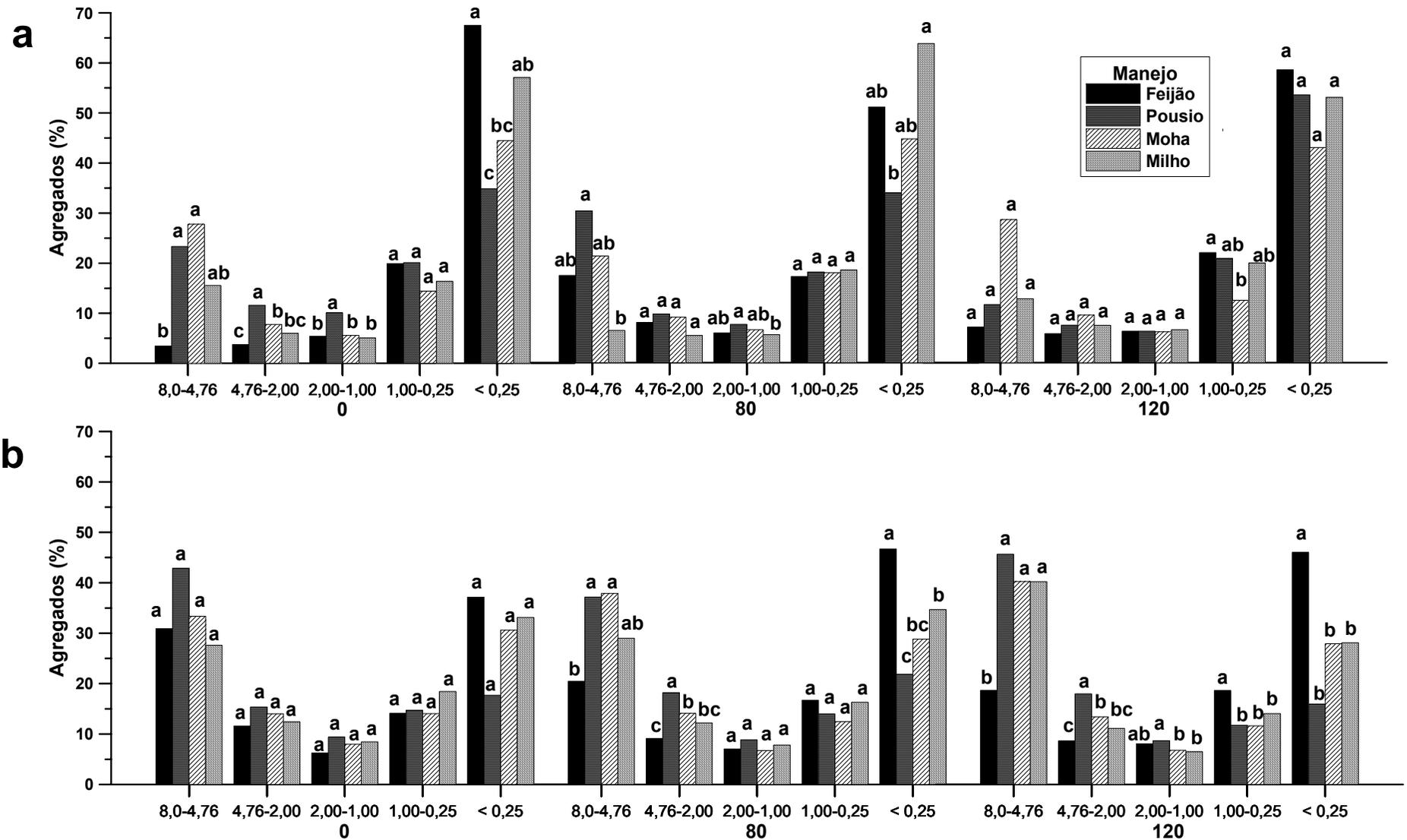


Figura 8 – Distribuição do tamanho de agregados na terceira (a) e na quarta coleta (b) para os diferentes tratamentos: feijão, pousio, moha e milho e doses de nitrogênio: 0, 80 e 120 kg N ha⁻¹. Letras minúsculas não diferem entre si nos diferentes tratamentos pelo teste de Tukey a 5%.

6.2 Estudo 2 - Avaliação das propriedades físico-hídricas do solo.

6.2.1 Sistema agro-pastoril

Os valores da densidade do solo (D_s) nos diferentes tratamentos bem como nas diferentes épocas analisadas são apresentados na tabela 9. Houve interação significativa entre tratamento e época de coleta. Nos tratamentos onde o solo permaneceu por um período de três anos sem o preparo convencional do solo (alfafa, festuca e consórcio de pastagens, nas três primeiras épocas de coleta) os valores de D_s variaram de 1,31 a 1,40 e 1,37 a 1,45 Mg m^{-3} , nas camadas de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, respectivamente. Após a terceira coleta, ocorreu a inversão dos tratamentos, ou seja, as parcelas que estavam sendo cultivadas com pastagem sem revolvimento anual do solo foram preparadas mecanicamente para receberem a cultura da cebola. Esse preparo explica a redução da D_s nesses tratamentos na época 4 (preparo do camalhão), onde a menor densidade foi 0,95 Mg m^{-3} na camada superficial e 1,06 Mg m^{-3} na segunda camada em estudo.

Nos demais tratamentos cultivados com cebola onde o preparo convencional foi empregado anualmente, a D_s apresentou valores baixos, variando de 1,05 a 1,24 Mg m^{-3} na camada de 0,00 a 0,10 e 1,17 a 1,43 Mg m^{-3} na camada de 0,10 a 0,20 m. Na última época analisada, ao contrário dos demais tratamentos, os resultados não apresentaram uma redução nesse parâmetro, pois nessas parcelas o preparo do solo foi superficial, com objetivo de apenas nivelar a superfície do solo para então implantar as pastagens.

Em geral, verificou-se um aumento da densidade do solo em profundidade, ou seja, a camada de 0,10-0,20 m em todas as parcelas apresentou valores superiores de D_s , quando comparadas com a camada superficial (0,00-0,10 m). Essa variação pode ser explicada pela porosidade do solo, a camada com maior densidade foi a que apresentou menor porosidade total, sendo esta variação uma função da macroporosidade, pois a microporosidade se manteve praticamente igual nas 4 épocas de coleta.

Tabela 9 – Valores de densidade do solo (Ds Mg m⁻³) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Época referente ao cultivo da cebola	Tratamentos							Média
	Cultivo Anterior							
	Cebola	Cebola	Cebola	Alfafa	Festuca	Consórcio		
	Cultivo Atual							
	Alfafa	Festuca	Consórcio	Cebola	Cebola	Cebola		
0,00-0,10 m								
Pós transplante	1,38Aa	1,12 Aa	1,33 Aa	1,24 Aa	1,39 Aa	1,19 Aa	1,27	
Antes da colheita	1,32Aab	1,14 Aab	1,35Aa	1,15 Aab	1,33Aa	1,09Ab	1,24	
Pousio	1,32Aab	1,14 Aab	1,31 Aab	1,09Ab	1,37Aa	1,11Ab	1,22	
Preparo camalhão	0,98Bb	1,22Aa	0,96Bb	1,17 Aab	0,95Bb	1,05 Aab	1,05	
Média	1,24	1,16	1,23	1,15	1,25	1,11		
0,10-0,20 m								
Pós transplante	1,45Aa	1,24Aba	1,45Aa	1,26Aa	1,44Aa	1,32Aa	1,36	
Antes da colheita	1,41Aa	1,21Bbc	1,37Aab	1,38Aab	1,38Aab	1,17Aa	1,32	
Pousio	1,39Aa	1,24Aba	1,37Aa	1,28Aa	1,38Aa	1,31Aa	1,33	
Preparo camalhão	1,06Bb	1,40Aa	1,05Bb	1,43Aa	1,08Bb	1,36Aa	1,23	
Média	1,31	1,28	1,30	1,34	1,31	1,29		

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

Na tabela 10, dados de porosidade total (PT) são apresentados para os diferentes tratamentos nas diferentes épocas de coleta. Os tratamentos no quais se cultivaram pastagens apresentaram valores menores de PT nas três primeiras épocas de coleta, na quarta época devido o revolvimento do solo para construção dos camalhões a PT do solo aumentou em média 10 %. Nas demais parcelas, nas três primeiras coletas a porosidade manteve-se quase que inalterada, com uma pequena redução com o passar do tempo (da 1^a para a 4^a coleta) devido à acomodação das partículas do solo. Nas parcelas cultivadas com cebola, na segunda camada de profundidade no momento da 4^a coleta foram as únicas com redução na PT.

Solos com características vérticas naturalmente possuem uma baixa percentagem de macroporos em relação aos microporos (CAPURRO, 2005). Na tabela 11, pode-se verificar que a microporosidade apresentou interação significativa entre tratamentos e épocas de coleta. A microporosidade não foi alterada pelo preparo do solo e manteve-se praticamente constante quando analisamos as três primeiras coletas em todos os tratamentos nas duas profundidades. A maior variação ocorreu na camada superficial (0,00-0,10 m) nas parcelas que até então, vinham

sendo cultivadas com pastagem e receberam o preparo convencional, ocasionando uma redução da microporosidade e conseqüentemente aumento da macroporosidade. Em seu trabalho, Cornish et al. (1987), estudando a resposta do sistema radicular de forrageiras encontrou que, com o aumento da densidade do solo nas parcelas cultivadas com pastagens, houve uma redução na porosidade total do solo, sendo esta redução mais afetada nos macroporos, que são poros destinados à aeração do solo.

A macroporosidade em relação à porosidade total e a microporosidade foi a propriedade física mais alterada com o preparo do solo. As parcelas cultivadas com pastagem no momento da inversão dos tratamentos obtiveram um acréscimo considerável, pois tinham em média menos de 6% de macroporos e após preparo do solo essa percentagem ficou acima de 20 % (Tabela 12).

Cannel (1977) afirma que, em geral, para não haver perda na produtividade das culturas por déficit de ar, a macroporosidade deve ser no mínimo de 10 %. Tormena et al. (1998), Silva (2003) e Fontanela (2008) concordam que para o bom desenvolvimento das culturas de interesse econômico a porosidade de aeração tem que ser superior a 10%. Na tabela 12 podemos verificar que as parcelas cultivadas com pastagem durante os meses de agosto de 2006 a março de 2007 (1ª, 2ª e 3ª coleta) apresentaram valores inferiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (10 %). Com o preparo do solo, ocorreu um incremento da macroporosidade e, conseqüentemente, aumentou a porosidade total do solo. Nas parcelas cultivadas com cebola, na camada de 0,00-0,10m em todas as épocas de coleta, a macroporosidade ficou acima do nível crítico, ou seja, acima de 10 %, não apresentando problemas para as culturas. Na segunda camada, o teor de macroporos também é reduzido, podendo ser um fator determinante na produção das culturas. Em condições experimentais, tem-se observado que as plantas continuam produzindo adequadamente, mesmo em solos que muitas vezes apresentam, para algumas propriedades, condições inadequadas em termos teóricos (REICHERT et al., 2003).

Tabela 10 – Porosidade total (PT m³ m⁻³) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m.

Época referente ao cultivo da cebola	Tratamentos							Média
	Cultivo Anterior							
	Cebola	Cebola	Cebola	Alfafa	Festuca	Consórcio		
	Cultivo Atual							
	Alfafa	Festuca	Consórcio	Cebola	Cebola	Cebola		
0,00-0,10 m								
Pós transplante	0,434Bc	0,541Aa	0,457Babc	0,505Aabc	0,436Bbc	0,526Aab	0,487	
Antes da colheita	0,479ABb	0,517Aab	0,469Bb	0,537Aab	0,478ABb	0,566Aa	0,507	
Pousio	0,447Bab	0,507Aab	0,445Bab	0,516Aa	0,433Bb	0,508Aab	0,476	
Preparo camalhão	0,551Aab	0,478Ab	0,558Aa	0,506Aab	0,551Aab	0,530Aab	0,529	
Média	0,482	0,507	0,484	0,517	0,478	0,532		
0,10-0,20 m								
Pós transplante	0,421Bb	0,486ABab	0,436Bab	0,500Aa	0,426Bab	0,481Aab	0,460	
Antes da colheita	0,446Ba	0,509Aa	0,458Ba	0,466ABa	0,452Ba	0,502Aa	0,472	
Pousio	0,432Ba	0,469ABa	0,425Ba	0,457ABa	0,421Ba	0,455Aa	0,443	
Preparo camalhão	0,540Aa	0,424Bb	0,543Aa	0,424Bb	0,541Aa	0,440Ab	0,485	
Média	0,463	0,471	0,468	0,458	0,463	0,470		

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

Tabela 11 – Microporosidade (Mic m³ m⁻³) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m.

Época referente ao cultivo da cebola	Tratamentos							Média
	Cultivo Anterior							
	Cebola	Cebola	Cebola	Alfafa	Festuca	Consórcio		
	Cultivo Atual							
	Alfafa	Festuca	Consórcio	Cebola	Cebola	Cebola		
0,00-0,10 m								
Pós transplante	0,384Aa	0,352Aa	0,392Aa	0,362Aa	0,377Aa	0,360 Aa	0,370	
Antes da colheita	0,384Aa	0,345Aa	0,394Aa	0,363Aa	0,389Aa	0,349 Aa	0,372	
Pousio	0,402Aa	0,353Aab	0,402Aa	0,332Ab	0,397Aa	0,355Aab	0,374	
Preparo camalhão	0,314Bab	0,359Aa	0,306Bab	0,353Aa	0,297Bb	0,329Aab	0,326	
Média	0,370	0,353	0,372	0,352	0,364	0,348		
0,10-0,20 m								
Pós transplante	0,380Aa	0,391Aa	0,363Aa	0,368Aa	0,375Aa	0,378Aa	0,376	
Antes da colheita	0,377Aa	0,361Aa	0,383Aa	0,390Aa	0,371Aa	0,348Aa	0,371	
Pousio	0,398Aa	0,383Aa	0,389Aa	0,387Aa	0,385Aa	0,398Aa	0,39	
Preparo camalhão	0,339Ab	0,390Aab	0,332Ab	0,402Aa	0,338Ab	0,373Aab	0,362	
Média	0,373	0,380	0,367	0,389	0,366	0,374		

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

Tabela 12 – Macroporosidade ($\text{Mac m}^3 \text{ m}^{-3}$) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m.

Época referente ao cultivo da cebola	Tratamentos						
	Cultivo Anterior						
	Cebola	Cebola	Cebola	Alfafa	Festuca	Consórcio	
	Cultivo Atual						
	Alfafa	Festuca	Consórcio	Cebola	Cebola	Cebola	Média
0,00-0,10 m							
Pós transplante	0,054Bb	0,189ABa	0,065Bab	0,147Aab	0,058Bab	0,166Aab	0,116
Antes da colheita	0,095Bb	0,173Aab	0,074Bb	0,174Aab	0,089Bb	0,217Aa	0,135
Pousio	0,044Bbc	0,154Aab	0,042Bbc	0,183Aa	0,036Bc	0,152Aab	0,102
Preparo camalhão	0,237Aa	0,119Ab	0,251Aa	0,153Aab	0,254Aa	0,201Aab	0,202
Média	0,112	0,154	0,113	0,165	0,114	0,184	
0,10-0,20 m							
Pós transplante	0,040Ba	0,095ABA	0,73Ba	0,132Aa	0,051Ba	0,103ABa	0,084
Antes da colheita	0,069Ba	0,148Aa	0,743Ba	0,076ABa	0,082Ba	0,153Aa	0,100
Pousio	0,034Ba	0,086ABa	0,363Ba	0,069ABa	0,036Ba	0,056Ba	0,053
Preparo camalhão	0,202Aa	0,034Bb	0,211Aa	0,022Bb	0,203Bb	0,066ABb	0,123
Média	0,092	0,095	0,101	0,069	0,097	0,095	

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

Os tratamentos cultivados com cebola apresentaram uma menor densidade do solo, maior percentagem de macroporos e também valores elevados de condutividade hidráulica saturada (Tabela13), o que pode ser explicado pelo preparo recente do solo e construção dos camalhões para implantação da cultura. Ao contrário, os outros 3 tratamentos cultivados com pastagem (nas três primeiras coletas) apresentaram valores elevados de densidade do solo e uma reduzida macroporosidade e, conseqüentemente, baixa condutividade hidráulica saturada. Na quarta coleta, devido à inversão dos tratamentos, podemos verificar que a condutividade hidráulica aumentou consideravelmente nos tratamentos que vinham sendo cultivados com pastagem e receberam preparo convencional. Nos tratamentos cultivados com cebola, a condutividade hidráulica saturada avaliada na última coleta reduziu drasticamente.

Kaiser (2006), avaliando uma topossequência cultivada com fumo e mata nativa, encontrou resultados semelhantes, ou seja, locais com maior densidade do solo e menor macroporosidade também apresentaram menor condutividade hidráulica saturada. As principais variações na condutividade hidráulica são relacionadas com a variação na porosidade e continuidade de poros. A infiltração de

água bem como sua redistribuição no solo e a troca gasosa dependem dessa propriedade (HILLEL, 1998).

Tabela 13 – Condutividade hidráulica saturada (K_s , mm h⁻¹) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m.

Época referente ao cultivo da cebola	Tratamentos						
	Cultivo Anterior						Média
	Cebola	Cebola	Cebola	Alfafa	Festuca	Consórcio	
	Cultivo Atual						
	Alfafa	Festuca	Consórcio	Cebola	Cebola	Cebola	
0,00-0,10 m							
Pós transplante	201,06ABa	296,3Aa	272,8ABa	117,6Aa	27,4Ba	326,6Aa	209,7
Antes da colheita	98,6Ba	113,5Aa	16,8Ba	100,6Aa	63,8Ba	308,8Aa	117,4
Pousio	26,9Bb	236,3Aab	88,9Bab	454,8Aa	61,6Bab	352,3Aab	203,5
Preparo camalhão	625,2Aa	148,3Ab	643,3Aa	275,0Aab	638,7Aa	439,3Aab	461,6
Média	239,8	196,0	252,4	246,3	211,9	356,7	
0,10-0,20 m							
Pós transplante	22,9Ba	2631,2Aa	449,9Ba	125,1Aa	12,1Ba	204,0Aa	86,5
Antes da colheita	46,0Ba	196,3Aa	11,4Ba	16,1Aa	24,8Ba	191,4Aa	81,0
Pousio	12,4Ba	157,0Aa	30,5Ba	90,5Aa	39,3Ba	132,3Aa	77,0
Preparo camalhão	512,4Aa	29,5Ab	584,8Aa	54,5Ab	545,8Aa	121,2Ab	308,0
Média	160,8	110,1	180,0	67,6	169,5	162,2	

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

A curva característica de água no solo é uma função de sua estrutura quando refere-se aos pontos “úmidos” da curva (altos potenciais) e da área superficial específica dos argilo-minerais quando se analisa os pontos “secos” das curvas (baixos potenciais). Os macroporos são responsáveis pela aeração do solo e, devido o seu tamanho, em poucas horas após a chuva e ou irrigação esses poros são drenados e seu volume passa a ser ocupados por ar. Microporos do solo são responsáveis pela retenção da água capilar, ou seja, a água prontamente disponível as plantas e que ira suprir a demanda hídrica das culturas durante os dias sem chuvas.

Abaixo, nas figuras 9, 10, 11 e 12, esta representada as CRA nas épocas 1, 2, 3 e 4 respectivamente. Os tratamentos cultivados com pastagens (alfafa, festuca e consórcio) que, na camada de 0,00-0,10 m, apresentaram baixos valores de macroporos, em média menos de 10% da porosidade total, e devido à baixa

percentagem de macroporos a curva característica de água no solo é bem menos acentuada, demonstrando que, em altos potenciais, esse solo tem uma capacidade maior de reter água em função da microporosidade. Se realizarmos a leitura do gráfico em função dos tratamentos onde ocorre o revolvimento do solo, e conseqüentemente, aumento da macroporosidade, podemos verificar que a curva de retenção de água no solo é bem mais acentuada, ou seja, ao analisar o teor de umidade em um mesmo potencial, os tratamentos que recebem o revolvimento do solo apresentam uma maior umidade no ponto de saturação, isso se deve ao maior volume da porosidade total; porém, após a aplicação da tensão de 6 kPa, a curva inverte, e os tratamentos cultivados com pastagem passam a apresentar uma maior umidade, pois a variação da porosidade ocorre principalmente na macroporosidade, sendo esta responsável pela aeração do solo e não a retenção de água.

Outro fator importante na retenção de água é o tipo de argilo-mineral predominante no solo. Este solo é rico em argilo-minerais expansíveis (2:1) os quais com a presença de água, se expandem, aumentando consideravelmente a retenção de água no solo. Analisando as curvas abaixo, pode-se verificar que o efeito de preparo do solo e ou culturas utilizadas não modificaram o conteúdo de água no solo nos pontos de -500 e -1500 kPa, pois, nesta parte da curva, a área superficial específica dos argilo-minerais passa a reger o teor de água no solo. Resultados semelhantes a este, com elevada umidade no ponto de murcha permanente (PMP), foram encontrados por Kaiser (2006), trabalhando com solos com baixa taxa de intemperismo.

Na figura 10, pode-se verificar que um pequeno incremento da macroporosidade a curva de retenção de água no solo muda consideravelmente e todos os tratamentos, revolvidos ou não, passam a ter um comportamento semelhante. Estes resultados demonstram a resiliência elevada que este tipo de solo, com predomínio de minerais 2:1 apresentam. Na 3ª coleta (Figura 11), na camada superficial os tratamentos apresentam novamente resultados semelhantes à primeira coleta, o que se deve à colheita da cebola, ocasionando uma pequena mobilização do solo, contribuindo consideravelmente na permeabilidade do solo.

No momento da 4ª coleta (Figura 12), na camada superficial, todos os tratamentos possuem a mesma tendência, pois antecedendo esta coleta ocorreu a inversão dos tratamentos, onde todas as parcelas receberam preparo convencional, ou para confecção do camalhão para instalação da cultura da cebola ou do

nivelamento dos camalhões antigos para implantação das pastagens. Esta semelhança foi mais expressiva na primeira camada, pois nas parcelas onde o objetivo era apenas o nivelamento para implantação das pastagens o preparo foi superficial, não atingindo a camada de 0,10-0,20 m e, conseqüentemente, se manteve a variação entre os tratamentos utilizados.

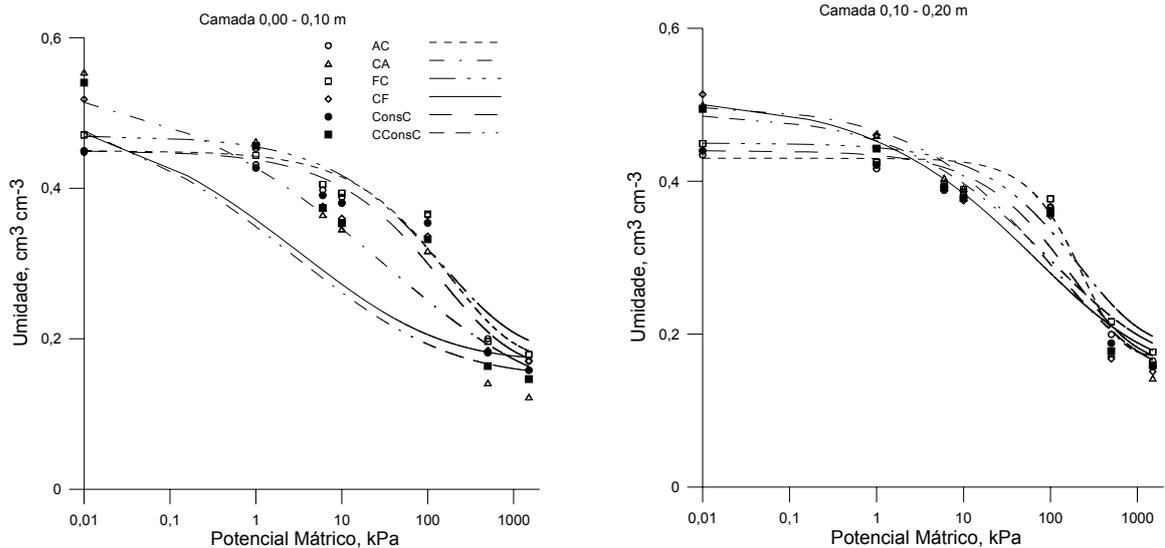


Figura 9 – Curva característica de água no solo na primeira coleta para os diferentes tratamentos: AC- alfafa pós cebola, CA- cebola pós alfafa; FC- festuca pós cebola; CF- cebola pós festuca; ConsC- consórcio de pastagens pós cebola e CCons- cebola pós consórcio de pastagens e camadas: 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.

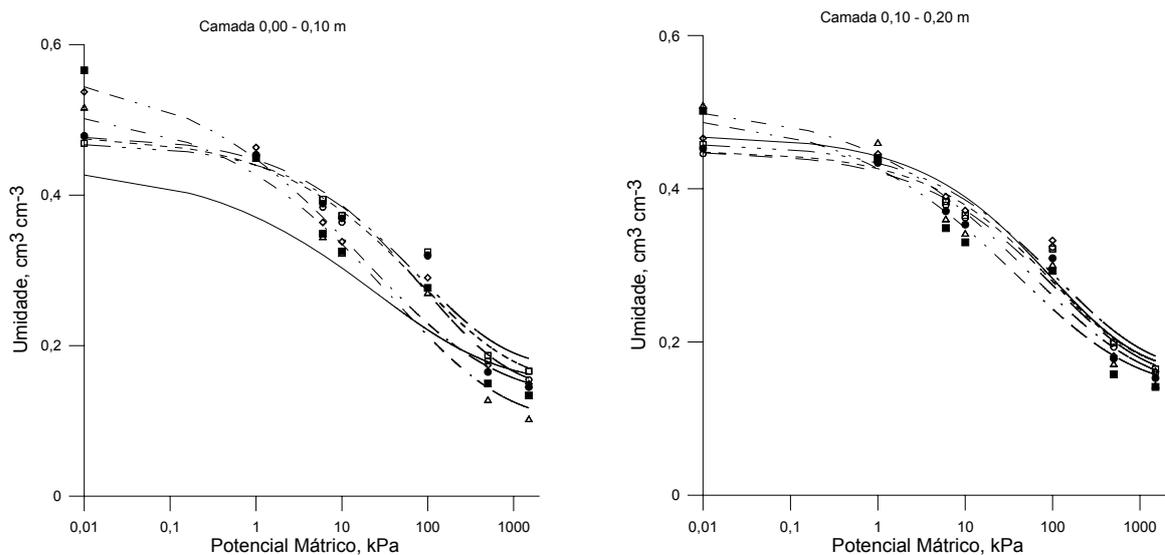


Figura 10 – Curva característica de água no solo na segunda coleta para os diferentes tratamentos: AC- alfafa pós cebola, CA- cebola pós alfafa; FC- festuca pós cebola; CF- cebola pós festuca; ConsC- consórcio de pastagens pós cebola e CCons- cebola pós consórcio de pastagens e camadas: 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.

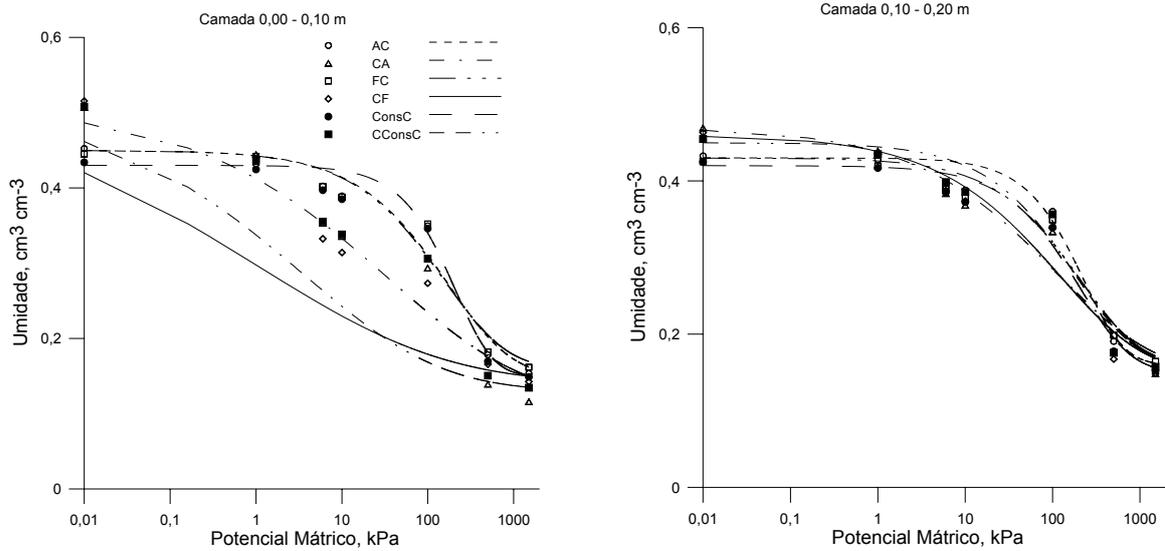


Figura 11 – Curva característica de água no solo na terceira coleta para os diferentes tratamentos: AC- alfafa pós cebola, CA- cebola pós alfafa; FC- festuca pós cebola; CF- cebola pós festuca; ConsC- consórcio de pastagens pós cebola e CCons- cebola pós consórcio de pastagens e camadas: 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.

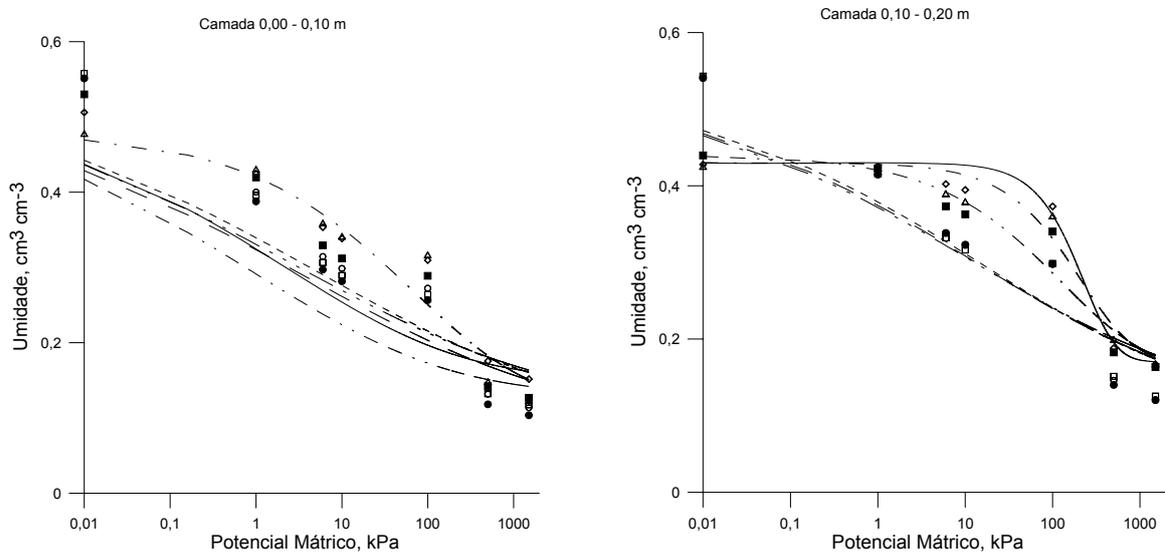


Figura 12 – Curva característica de água no solo na quarta coleta para os diferentes tratamentos: AC- alfafa pós cebola, CA- cebola pós alfafa; FC- festuca pós cebola; CF- cebola pós festuca; ConsC- consórcio de pastagens pós cebola e CCons- cebola pós consórcio de pastagens e camadas: 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.

A permeabilidade além de ser dependente da porosidade e do teor de água que o solo se encontra, também é dependente da continuidade de poros, pois poros não contínuos não possuem a capacidade de realizar a troca gasosa entre o solo e a atmosfera.

Abaixo, na figura 13 está representado a K_a em relação ao espaço aéreo para os diferentes tratamentos do sistema agro-pastoril nas duas camadas analisadas. Na 2ª e 3ª coletas, os tratamentos cultivados com alfafa, festuca e consórcio apresentaram uma baixa K_a nas duas camadas analisadas, sendo este valor explicado pela reduzida macroporosidade nesses tratamentos. Os tratamentos cultivados com cebola apresentaram um pequeno incremento de K_a , porém sendo pouco relevante, esse pequeno acréscimo pode estar relacionado a descontinuidade de poros ou a expansão das argilas devido a elevada capacidade que este solo possui de reter água nos potenciais em que se realizou a análise de K_a , pois a macroporosidade em todas as coletas nos tratamentos cultivado com cebola foi superior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (10 %).

Na quarta coleta, ocorreu a inversão dos tratamentos, parcelas que vinham sendo cultivadas há três anos com ausência de preparo do solo receberam o preparo convencional, com o objetivo de reduzir a densidade do solo e também preparar o camalhão para implantação da cultura da cebola. Esse preparo elevou a macroporosidade alterando as propriedades físicas do solo, dentre elas a permeabilidade ao ar, ou seja, parcelas que apresentaram menor K_a tiveram um incremento de permeabilidade, porém mantendo a mesma seqüência lógica. A diminuição do potencial matricial acarretou incrementos na permeabilidade, sendo este incremento mais expressivo entre os potenciais equivalentes a -1 e -6 kPa.

Com base nesses resultados, podemos classificar o este solo como impermeável, pois solos que apresentam permeabilidade ao ar inferior a $1 \text{ } \mu\text{m}^2$, segundo Ball; Schjonning (2002), podem ser considerados solos impermeáveis.

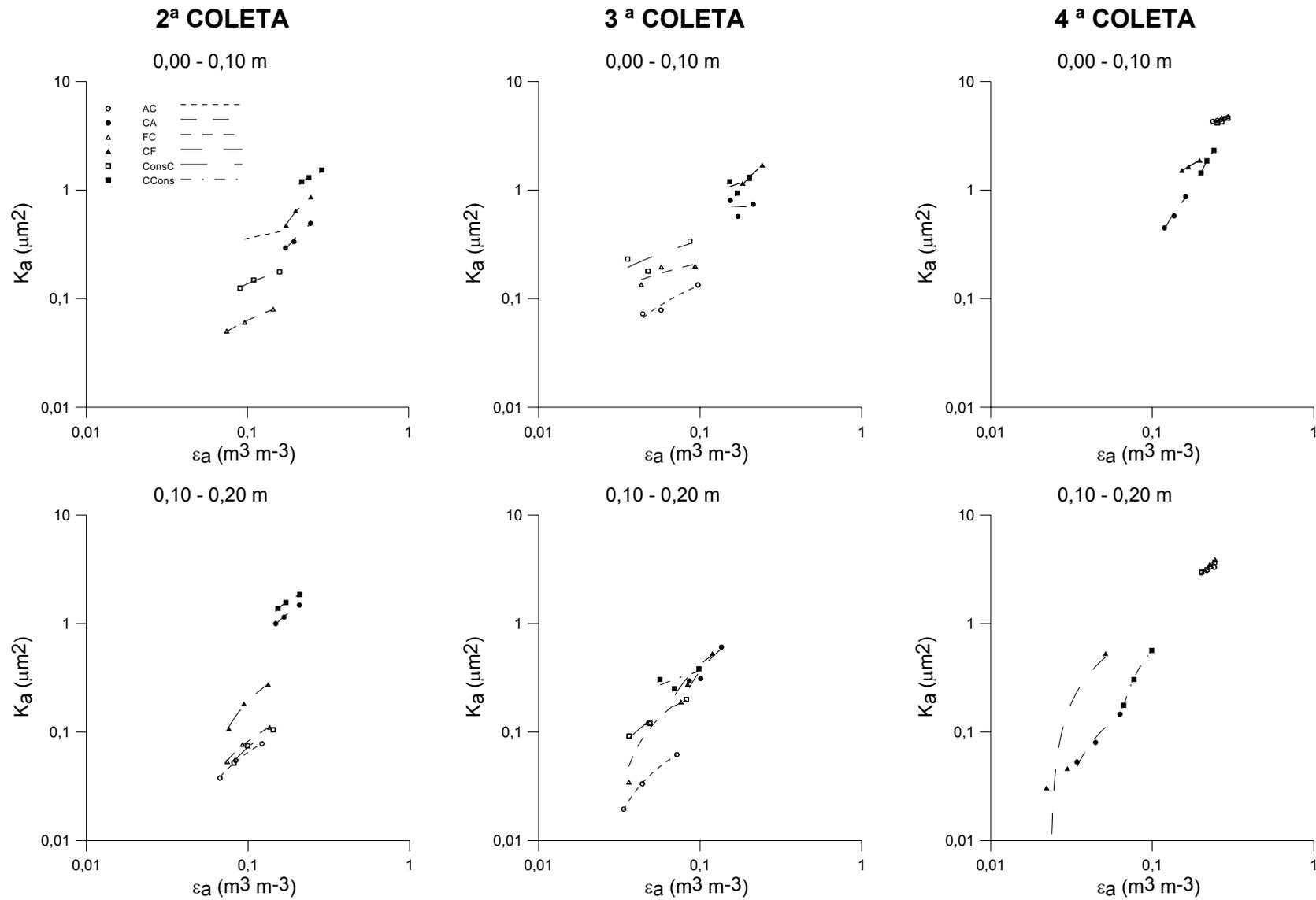


Figura 2 – Relação entre a permeabilidade ao ar e o espaço aéreo do solo para os diferentes tratamentos: AC- alfafa pós cebola, CA- cebola pós alfafa; FC- festuca pós cebola; CF- cebola pós festuca; ConsC- consórcio de pastagens pós cebola e CCons- cebola pós consórcio de pastagens e camadas: 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m nas três épocas analisadas.

6.2.2 Culturas de verão

A densidade do solo (Ds) expressa a relação existente entre a massa e o volume ocupado pelo solo. Segundo Letey (1985), a Ds é um fator físico que afeta indiretamente o crescimento de plantas, pois uma mudança na Ds certamente proporciona mudanças na porosidade do solo e, conseqüentemente, altera o conteúdo de água e ar disponível as plantas. Essas alterações causam aumento ou redução na produção das culturas.

Os valores de Ds obtidos nos diferentes tratamentos bem como nas duas profundidades analisadas são apresentados na tabela 14. Para a 1ª camada, os resultados não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, pois todos receberam anualmente o preparo convencional. Analisando a 4ª coleta podemos verificar que os valores de Ds apresentaram uma redução, pois essa coleta foi realizada logo após o preparo do solo.

Tabela 14 – Valores de densidade do solo (Ds Mg m⁻³) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m.

Época referente ao cultivo da cebola	Tratamentos				
	Feijão	Pousio	Moha	Milho	Média
	0,00-0,10 m				
Pós transplante	1,29	1,20	1,23	1,20	1,23a
Antes da colheita	1,29	1,22	1,19	1,21	1,23a
Cultura de verão	1,26	1,32	1,33	1,21	1,28a
Preparo camalhão	1,06	0,97	1,15	1,06	1,06b
Média	1,23a	1,18a	1,22a	1,17a	
	0,10-0,20 m				
Pós transplante	1,39	1,29	1,28	1,35	1,33b
Antes da colheita	1,37	1,29	1,37	1,47	1,37ab
Cultura de verão	1,42	1,42	1,47	1,39	1,42a
Preparo camalhão	1,10	1,07	1,17	1,10	1,11c
Média	1,32a	1,27a	1,32a	1,33a	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

A porosidade do solo é responsável pela retenção de água e também favorece a aeração das raízes. Os macroporos são considerados aqueles poros que após a chuva e/ou irrigação drenam facilmente assumindo um papel importante na

disponibilidade de ar às plantas. Poros com diâmetro menor que 50 μm são considerados microporos e, devido ao pequeno diâmetro conseguem por capilaridade reter água, água essa que ira suprir as necessidades das culturas entre chuvas.

Os tratamentos não apresentaram diferença significativa de porosidade total nas duas camadas avaliadas (Tabela 15), pois a ação mecânica dos implementos no momento do preparo do solo se sobressai ao efeito diferencial que os diferentes tratamentos poderiam ocasionar ao solo. Na segunda camada, nas três primeiras épocas de coleta ocorre uma pequena redução da PT em virtude do aumento da densidade do solo.

Nas diferentes épocas de coleta, pode-se verificar que, na média dos tratamentos, a terceira coleta foi a que apresentou diferença significativa em ambas as camadas, isso pode ser explicado ao rearranjo das partículas do solo com o passar do tempo, acarretando uma redução da macroporosidade e um pequeno acréscimo na microporosidade. Na última coleta, a porosidade total apresentou um acréscimo nas duas camadas analisadas, pois a ação mecânica dos implementos no preparo convencional reduziu a densidade do solo. Resultados similares foram encontrados por Streck (2007), onde a redução da Ds ocasiona alterações em sua porosidade.

Tabela 15 – Porosidade total (PT $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m.

Época referente ao cultivo da cebola	Tratamentos				Média
	Feijão	Pousio	Moha	Milho	
	0,00-0,10 m				
Pós transplante	0,499	0,519	0,509	0,523	0,513a
Antes da colheita	0,493	0,536	0,527	0,53	0,521a
Cultura de verão	0,461	0,452	0,448	0,475	0,459b
Preparo camalhão	0,523	0,555	0,505	0,540	0,531a
Média	0,494a	0,515a	0,497a	0,517a	
	0,10-0,20 m				
Pós transplante	0,453	0,483	0,492	0,479	0,477b
Antes da colheita	0,480	0,492	0,494	0,464	0,483b
Cultura de verão	0,422	0,427	0,412	0,430	0,423c
Preparo camalhão	0,527	0,539	0,510	0,526	0,525a
Média	0,471a	0,485a	0,477a	0,475a	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

A microporosidade do solo (Tabela 16) apresentou a mesma tendência da PT, não apresentando variação entre os tratamentos e uma pequena diferença entre as diferentes épocas avaliadas. Nas três primeiras coletas e nas duas profundidades, os dados não apresentaram diferença significativa. Analisando a quarta coleta, verifica-se que houve diferença significativa quando comparado com as coletas anteriores, pois ocorreu uma pequena redução no volume de poros dessa classe resultante do preparo convencional e construção dos camalhões.

Tabela 16 – Microporosidade ($\text{Mic m}^3 \text{ m}^{-3}$) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m.

Época referente ao cultivo da cebola	Tratamentos				Média
	Feijão	Pousio	Moha	Milho	
0,00-0,10 m					
Pós transplante	0,388	0,372	0,395	0,380	0,384a
Antes da colheita	0,384	0,387	0,395	0,390	0,389a
Cultura de verão	0,385	0,412	0,408	0,404	0,402a
Preparo camalhão	0,331	0,323	0,365	0,346	0,341b
Média	0,372a	0,373a	0,390a	0,380a	
0,10-0,20 m					
Pós transplante	0,393	0,393	0,414	0,420	0,405a
Antes da colheita	0,401	0,381	0,402	0,420	0,401a
Cultura de verão	0,403	0,416	0,408	0,410	0,409a
Preparo camalhão	0,340	0,345	0,361	0,349	0,349b
Média	0,384a	0,384a	0,396a	0,400a	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

Os valores de macroporosidade (Mac) do solo nos diferentes tratamentos e épocas amostradas são apresentados na tabela 17. Ao contrário da PT e da Microporosidade (Mic), aquele parâmetro apresentou uma pequena diferença entre tratamentos na camada superficial, onde as parcelas que permaneceram em pousio durante o verão apresentaram um pequeno incremento na Mac.

Entre os diferentes tratamentos, as duas camadas analisadas na época 1 e 2 não apresentaram diferença significativa entre elas, apresentando um valor intermediário quando comparada com a terceira e quarta coleta. Nas duas camadas, a terceira coleta foi a que apresentou menores valores de macroporosidade, sendo que esta redução está associada à reconsolidação do solo e conseqüentemente aumento

da microporosidade do solo. Na última coleta, o preparo convencional e construção dos camalhões acarretou em um acréscimo significativo na macroporosidade.

Segundo Douglas (1986) e Carter (1986), a macroporosidade revela-se como um índice bastante útil na avaliação das modificações estruturais do solo. Entretanto, reflete mais a condição do solo no momento e local da amostragem do que uma condição final ou permanente.

Tabela 17 – Macroporosidade ($\text{Mac m}^3 \text{ m}^{-3}$) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m.

Época referente ao cultivo da cebola	Tratamentos				Média
	Feijão	Pousio	Moha	Milho	
0,00-0,10 m					
Pós transplante	0,111	0,147	0,115	0,143	0,129b
Antes da colheita	0,108	0,149	0,132	0,140	0,132b
Cultura de verão	0,076	0,040	0,040	0,071	0,057c
Preparo camalhão	0,191	0,232	0,141	0,194	0,189a
Média	0,122ab	0,142a	0,107b	0,137ab	
0,10-0,20 m					
Pós transplante	0,060	0,090	0,078	0,059	0,072b
Antes da colheita	0,080	0,111	0,092	0,044	0,082b
Cultura de verão	0,019	0,011	0,004	0,020	0,014c
Preparo camalhão	0,187	0,194	0,149	0,176	0,177a
Média	0,086a	0,102a	0,081a	0,075a	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

A tabela 18 apresenta os valores de condutividade hidráulica saturada (K_s) nos diferentes tratamentos e camadas analisadas, a qual podemos verificar que um pequeno incremento ou redução da porosidade total acarreta uma grande alteração neste parâmetro físico analisado. A K_s de um solo é determinada pela geometria e continuidade dos poros quando preenchidos com água, tornando-se dependente, portanto, do tamanho, forma, volume, distribuição e continuidade dos mesmos (STRECK 2007).

Comparando os resultados da 1ª e da 2ª coleta (pós transplante e antes da colheita), esta última apresentou valores menores de K_s devido ao arranjo das partículas do solo, pois do preparo do solo até a 2ª coleta passaram-se seis meses. Durante a terceira coleta, ocorreu uma redução da macroporosidade do solo em comparação com a coleta anterior; porém, essa variação na porosidade não

influenciou estatisticamente a condutividade hidráulica saturada, pois os resultados não apresentaram diferença significativa quando comparamos as duas coletas.

Analisando a 4ª coleta, podemos verificar que a K_s teve um incremento significativo em ambas as profundidades, explicado pelo preparo convencional do solo e construção dos camalhões, já que a coleta se realizou poucos dias após o preparo do solo, tempo esse pequeno para que houvesse rearranjo das partículas e/ou agregados comum em solos com predomínio de minerais 2:1.

Solos intensamente mobilizados, ou seja, aqueles submetidos a mais de um cultivo anual, sofrem alterações em sua geometria porosa, em razão da grande quantidade de água que escoar pelo perfil, mas sobretudo pelo uso intensivo de máquinas e equipamentos durante o ciclo das culturas (SAUNDERS et al., 1978). A determinação da condutividade hidráulica realizada em laboratório tem a vantagem de ser fácil e rápida, mas a desvantagem de freqüentemente alterar as propriedades do solo podendo apresentar um elevado coeficiente de variação (KOOL et al., 1987).

Tabela 18 – Condutividade hidráulica saturada (K_s , mm h⁻¹) para os diferentes manejos e épocas de amostragem, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m.

Época referente ao cultivo da cebola	Tratamentos				
	Feijão	Pousio	Moha	Milho	Média
0,00-0,10 m					
Pós transplante	151,2	239,6	298,3	316,5	251,4b
Antes da colheita	19,7	120,0	80,9	68,1	72,2c
Cultura de verão	75,8	121,3	88,7	124,7	102,6c
Preparo camalhão	432,3	497,0	501,0	488,1	479,6a
Média	169,7a	244,5a	242,2a	249,4a	
0,10-0,20 m					
Pós transplante	66,9	203,0	217,1	44,8	132,9b
Antes da colheita	24,8	184,1	106,9	11,6	81,9b
Cultura de verão	35,2	11,2	3,4	27,1	19,2b
Preparo camalhão	481,5	510,8	408,6	353,3	438,6a
Média	152,1a	227,3a	184,0a	109,2a	

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

A água fica retida no solo por capilaridade ou adsorção, o fenômeno da capilaridade é dependente da distribuição do tamanho de poros, e o processo de adsorção é dependente da área superficial específica. Gavande (1972) e Arruda et al. (1987) afirmam que o teor de argila e a sua natureza influenciam na retenção de

água, de modo que solos com altos teores de argila, retêm mais água que solos arenosos.

Nas figuras 14, 15, 16 e 17, estão apresentadas as curvas de retenção de água no solo para cada tratamento nas quatro épocas analisadas. Pode-se verificar que, em todas as épocas analisadas, a umidade no ponto de saturação no solo da 1ª camada em estudo é um pouco superior quando comparada com a 2ª camada. Provavelmente, isso ocorreu devido às modificações que o preparo do solo provocou nas propriedades físicas do solo, como diminuição da densidade do solo e aumento da macroporosidade e da porosidade total. O patamar que se formou nas curvas de retenção de água no solo da camada de 0,10-0,20 m é explicado pela baixa porcentagem de macroporos em todos os tratamentos.

A 2ª camada (0,10-0,20 m) segue a mesma tendência da primeira, com a diminuição do potencial matricial ocorre um decréscimo no teor de umidade, porém devido essa camada possuir uma pequena quantidade de macroporos, ao aplicar uma tensão superior a 6 kPa, os microporos começam a drenar e o teor de umidade do solo decresce. Na quarta coleta, esse patamar não ocorreu, devido o preparo intenso do solo para construção do camalhão para implantação da cultura da cebola.

Em baixos potenciais, podemos verificar que a variação entre os tratamentos é muito pequena, pois a estrutura do solo perde seu efeito na retenção de água e a área superficial específica passa a reger o teor de água no solo. Por se tratar de um solo jovem, pouco intemperizado, podemos verificar que a quantidade de água no ponto de murcha permanente (tensão equivalente a 1500 kPa) é relativamente alta.

Todas as alterações que ocorrem nas propriedades físicas do solo são fatores que afetam a curva característica de retenção de água, pois interferem diretamente na capacidade de retenção de água. Dessa forma, quanto melhor estruturado o solo, maior a quantidade de água retida, dando uma indicação da disponibilidade de água às plantas. Para o manejo da irrigação, isso significa uma maior quantidade de água presente no solo, merecendo um manejo diferenciado, visando ao uso integrado e eficiente da água no cultivo da cebola e demais culturas de interesse econômico.

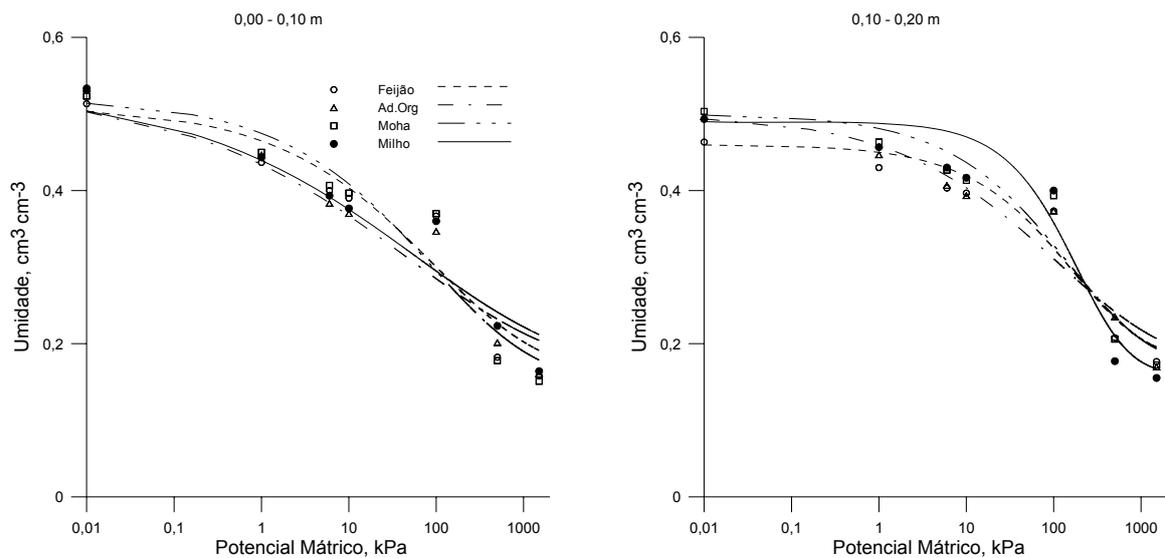


Figura 14 – Curva característica de água no solo na primeira coleta para os diferentes tratamentos: feijão, pousio, moha e milho e camadas: 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.

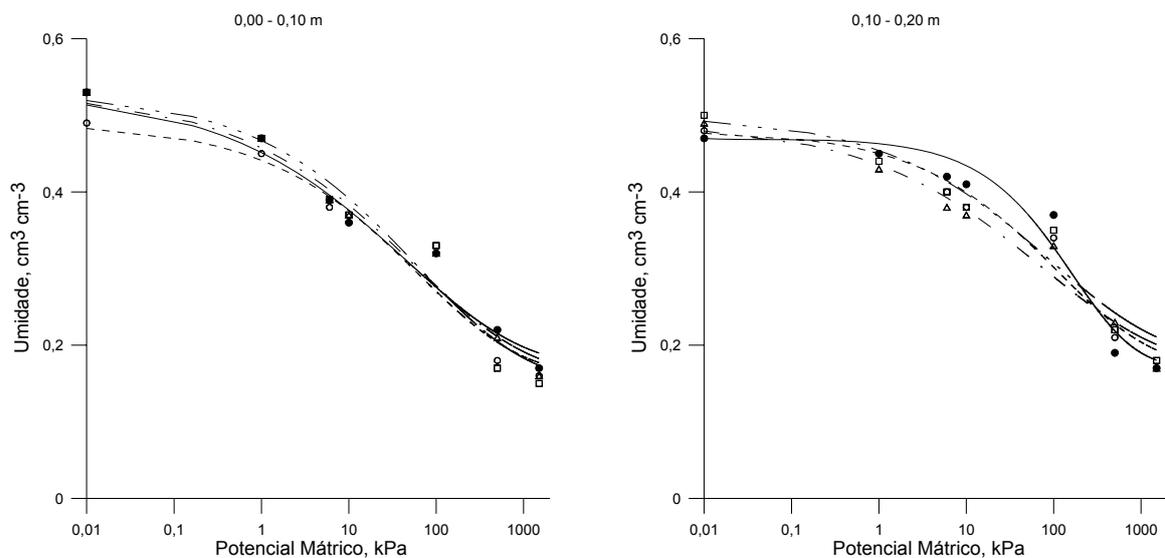


Figura 15 – Curva característica de água no solo na segunda coleta para os diferentes tratamentos: feijão, pousio, moha e milho e camadas: 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.

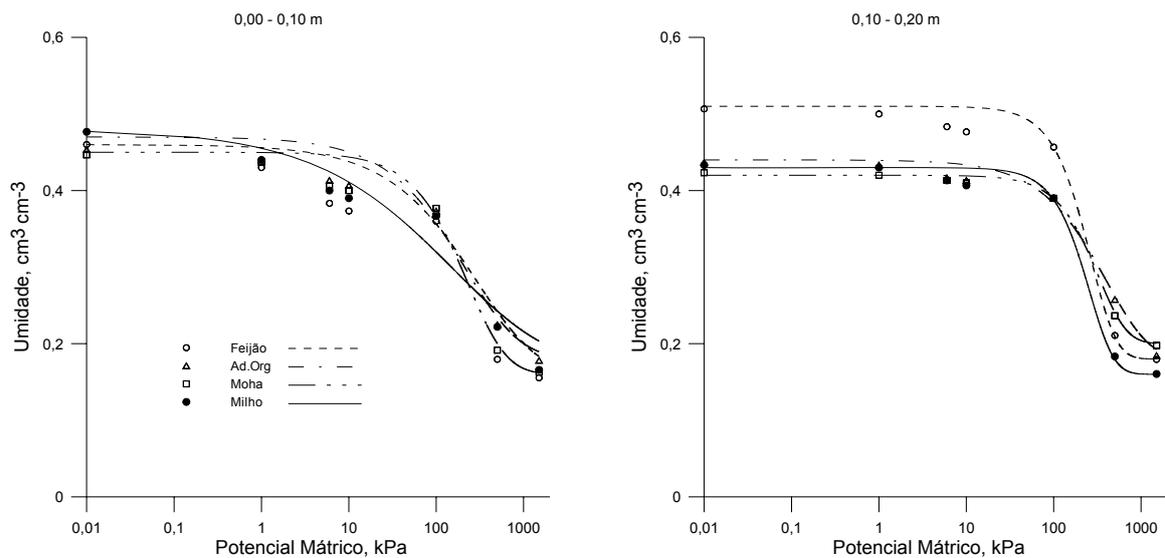


Figura 16 – Curva característica de água no solo na terceira coleta para os diferentes tratamentos: feijão, pousio, moha e milho e camadas: 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.

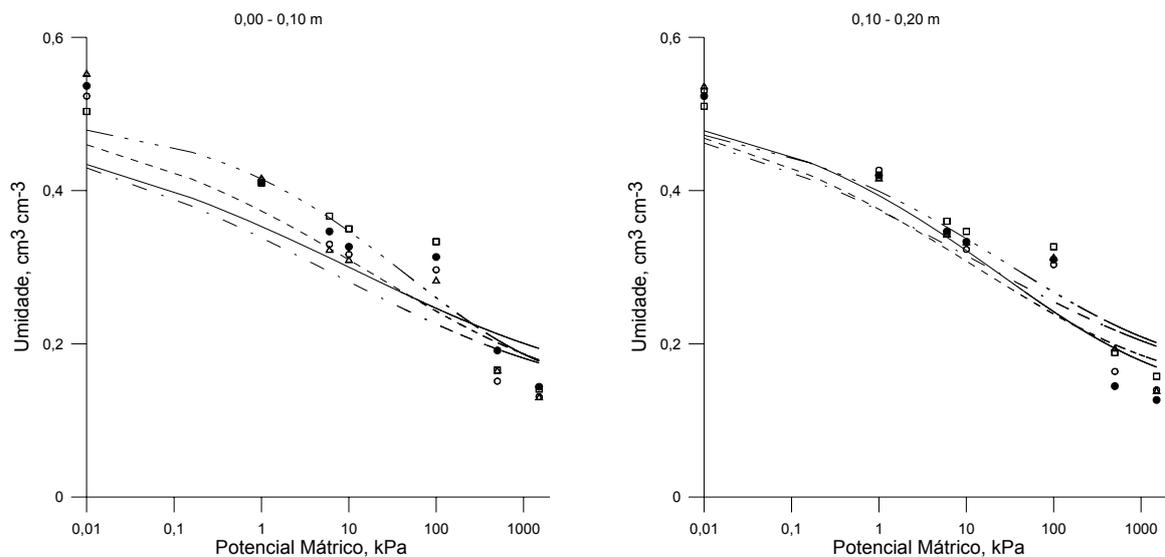


Figura 17 – Curva característica de água no solo na quarta coleta para os diferentes tratamentos: feijão, pousio, moha e milho e camadas: 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.

O espaço poroso do solo é ocupado pelos fluidos gêmeos (água e ar), com o aumento de um, ocorre à redução do outro e havendo este desequilíbrio pode ocorrer uma redução na produtividade das culturas. Cannel (1977), Tormena (1998) e Cavalieri (2006) afirmam que para que as culturas obtenham uma boa produção a porosidade de aeração deve ser igual ou superior a 10 % ($0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Em solos com predomínio de minerais 2:1 e em condições naturais, esse valor de 10 % é difícil de ser encontrado, o que justifica o preparo do solo com objetivo de aumentar a porosidade do solo, sendo essa alteração devido o aumento de macroporos do solo.

A figura 18 apresenta a permeabilidade ao ar do solo nos diferentes tratamentos para três épocas de coleta. Podemos verificar que, com a perda de água, ou seja, quando o potencial de água no solo diminui, ocorre um incremento na permeabilidade ao ar, pois poros que estavam sendo ocupados por água passam a conduzir ar. Ball; Schjonning (2002) afirmam que solos com pequena permeabilidade ao ar, por exemplo, menor que $1 \mu\text{m}^2$, podem ser considerados solos impermeáveis.

Nas duas primeiras análises (2ª e 3ª coleta), todos os tratamentos em ambas as profundidades analisadas apresentaram uma baixa permeabilidade ao ar e, por isso, podemos classificá-lo como um solo pouco permeável. Esse baixo valor está associado à baixa percentagem de macroporos e/ou a descontinuidade de poros, ocorrida devido ao preparo convencional do solo. Na quarta coleta, com o aumento drástico da macroporosidade, houve um incremento considerável na permeabilidade ao ar.

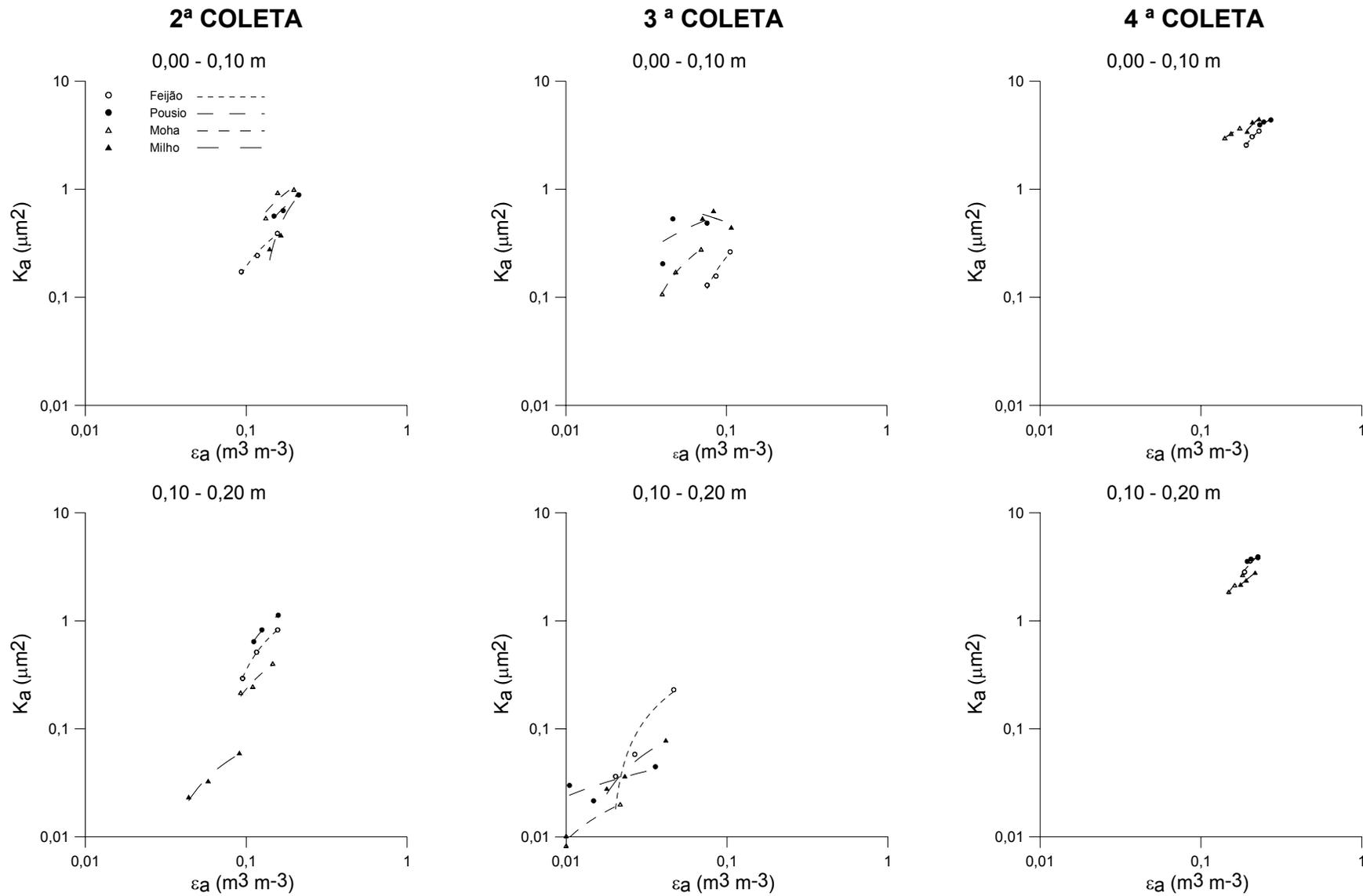


Figura 18 – Relação entre a permeabilidade ao ar e o espaço aéreo do solo para os diferentes tratamentos: feijão, pousio, moha e milho e camadas: 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m nas três épocas analisadas.

7 CONCLUSÕES

Intercalar o cultivo de cebola com pastagem proporciona um manejo com menor impacto à estrutura do solo, devido à ausência de preparo por certo período de tempo e ao maior aporte de material orgânico ao solo;

A adição de cama de aviário nos canteiros onde se cultiva cebola ocasionou um incremento de matéria orgânica do solo, proporcionando um solo mais estabilizado quanto ao tamanho de agregados;

O preparo convencional do solo é justificado pelo aumento na permeabilidade ao ar, condutividade hidráulica e diminuição da densidade do solo;

Houve incremento na permeabilidade ao ar até -6 kPa. A medida que o potencial diminuiu, o aumento da permeabilidade foi em menor proporção.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARRUDA, F. B.; ZULLO Jr., J; OLIVEIRA, J. B. Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível com base na textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, n 1, p 11-15, jan./abr. 1987.
- BALL, B. C.; SCHJONNING, P. Air permeability. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (ed.). **Methods of soil analysis**, Part 4, 5th ed. Madison: American Society of Agronomy & Soil Science Society of America, 2002, p. 1141-1158.
- BASSO, C. J.; REINERT, D. J. Variação da agregação induzida por plantas de cobertura de solo no inverno e plantio direto de milho em um solo podzólico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v 28, n 4, p. 567-571, out./dez. 1998.
- BAVER, L. D.; GARDNER W. H.; GARDNER, W. R. **Física de suelos**. México: Union Tipografica Editorial Hispano-Americana, 1972. 529p.
- 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**, v.35, n.5, p.1047-1054, 2000.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P. Intervalo hídrico ótimo e a produção de soja e arroz em dois latossolos. **Irriga**, Botucatu, v.9, n.2, p.181-192, maio/ago. 2004.
- BRADY, N. C; BUCHMAN, H.O. **Natureza e propriedades dos solos**. 2 ed, Rio de Janeiro. Livraria Freitas Bastos S/A. 1968. 594p.
- BRAIDA, J. A. **Matéria orgânica e resíduos vegetais na superfície do solo e suas relações com o comportamento mecânico do solo sob plantio direto**. 2004. 126 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade federal de Santa Maria, Santa Maria.
- BRONICK, C.J.; LAL, R Soil structure and manegment: a review. **Geoderma**, v.124, p.3-22, 2005.
- BUOL, S. W.; et al. **Soil genesis and classification**. Iowa, 1997. 527 p.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132 f.
- CAMPELO, E.; ARBOLEYA, J. In Tecnología para la producción de cebolla. Boletín de divulgación 88. **INIA Las Brujas**, Montevideo, 244 p, mayo 2005.
- CANNEL, R. Q. Soil aeration and compaction in relation to root growth and management. **Applied Biology**, v. 2, p. 1-86, 1977.

- CAPURRO, E P G; **Qualidade física de um vertissolo e produção forrageira em campo nativo melhorado, com irrigação e pastoreio.** 2005. 85 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- 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**, Campinas, v.14, n.1, p.99-105, jan./abr. 1990.
- CARTER, M.R.; KUNELIUS, H.T. Comparison of tillage and direct drilling for Italian ryegrass on the properties of a fine sandy loam soil. **Canadian Journal of Soil Science**, Manitoba, v.66, n. 2 p.197-207, mês 1986.
- CASTRO, C. F.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p 527-538, jul./set. 1998.
- 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, n. 1, p. 137-147. jan./fev. 2006.
- CORCINI, A. L. M. et al. Fluxo de água e ar do solo em sistemas de cultivo de cebola em solos vérticos no Uruguai. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31. Gramado, **Anais...** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1 CD-ROM.
- CORNISH, P. S.; SO, H. B; MC WILLIAM, J. R. Effects of soil bulk density and water regimen on the uptake of phoforus by ryegrass Aust. **Journal of Agriculture Research**, v. 35, p. 631-644, 1987.
- CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasilia/DF, v. 34, p. 289-298, fev. 1999.
- DOCAMPO. 2005. In Tecnología para la producción de cebolla. Boletín de divulgación 88. **INIA Las Brujas**, Montevideo, 244 p, mayo 2005.
- DOUGLAS, J. T. Macroporosity and permeability of somesoil cores from England and France. **Geoderma**, Amesterdan, v.37, p. 221-231, feb. 1986.
- DOURADO-NETO, D. et al. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, jan/mar 2000.
- DUDAL, R.; ESWARAN. H. Distribution, properties and classification of Vertisols. In: Wilding, L. P.; Puentes, R. eds. **Vertisols: their distribution, properties, classification and management.** Texas: Texas A&M University Printing Center, College Station, 1988. p. 1-22.

DUFRANC, G. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.505-517, maio/jun. 2004.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1979. não paginado.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília - DF: EMBRAPA - Embrapa Produção de Informação. 1999. 412 p.

FACULTAD DE AGRONOMIA. Características de Pantanoso del Suace, CRS, Cultivar de reciente liberación. En: **Recientes resultados de investigación e informaciones técnicas para el cultivo de cebolla en la región sur**. Centro Regional Sur, abril 2004.

FAO. 1994. **Soil Map of the World Revised Legend**. Rome: FAO.

FERREIRA, F. P. et al. Carbono orgânico, óxidos de ferro e distribuição de agregados em dois solos derivados de basalto no Rio Grande do Sul – Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 381-388, mar./abr. 2007.

FONTANELA, E. **Parâmetros físico-hídricos de um latossolo sob diferentes sistemas de manejo e níveis de tráfego**. 2008. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

GALLÁRRETA, C. G. **Manejo de irrigação das culturas de batata, pêra e maçã no Uruguai**. 2006. 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

GANG, L. U.; et al. Role of soil organic matter in stabilization of water-stable aggregates in soils under different types of land use. **Soil Science Plant Nutr**, v 44, p. 147-155, 1998.

GAVANDE, S.A. **Física de suelos: Principios y aplicaciones**. México, Limusa-Wiley, 1972. 351p.

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

GUPTA, S. C.; SHARMA, P. P.; DEFRANCHI, S. A. Compaction effects on soil structure. **Advances in Agronomy**, New York, v 42, p. 311-338, 1989.

HARRIS, R. F.; CHESTER, G.; ALLEN, O.N. Dynamics of soil aggregation. **Advances in Agronomy**, New York, v.18, p.107-169, 1966.

HARTGE, K. H.; HORN, R. **Die physikalische Untersuchung von Böden**. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1992. 177p.

HELALIA, A.M.; LETEY, J.; GRAHAM, R.C. Crust formation and clay migration effects on infiltration rate. **Soil Science Society American Journal**, v 52. p. 251-255, 1988.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. London, Academic Press, 1980. 413p.

HILLEL, D. **Environmental soil Physics**. New York, Academic Press, 1998. 771p.

HURTADO, A.L.B. **Variabilidade da condutividade hidráulica do solo em valores fixos de umidade e de potencial matricial**. 2004. 119 f, Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

JURY, W. A. et al. **Soil Physics**. 5 ed. New York: John Wiley & Sons, 1991. 328p.

KAISER, D. R. **Nitrato na solução do solo e na água de fontes para consumo humano numa microbacia hidrográfica produtora de fumo**. 2006. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

KEMPER, W.D. Aggregate stability. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.511-519.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A. **Methods of soil analysis**. Part I. Madison, Wisconsin: ASA. 1965 p. 499-510.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição de diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 857-867, out./dez. 2002.

KOOL, J. B.; PARKER, J.C.; GENUCHTEN, M.T. van. Parameter estimation for unsaturated flow and transport models: a review. **Journal of Hydrology**, v.91, p.255-293, 1987.

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

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2.ed. Piracicaba, 2000. 509p.

LIMA, C. L. R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MACHADO, J.; BRUM, A. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v 2, n. 2, p. 81-84, maio./ago. 1978.

OADES, J.M.; WATERS, A.G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.29, n.6, p.815-828, 1991.

OLIVEIRA, L. B. Determinação da macro e microporosidade pela "mesa de tensão" em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v.3, p. 197-200, jan./fev. 1968.

OTTONI FILHO, T. B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n 2, p. 211-222, mar./abr. 2003.

PEREIRA, A. A. A.; CRUCIANI, D. E. Estimativa de variações no coeficiente relativo de difusão dos gases no solo com base na análise da curva de retenção de água. **Ciência Rural**, v. 31, n. 2, p. 245-249, mar./abr. 2001.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p.26-48, Jul/Dez 2003.

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, dez. 2006.

REINERT, D. J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: Dias, L. E.; Mello, J. W. V. eds. **Recuperação de áreas degradadas**. Sociedade Brasileira de Áreas Degradadas. 1998. p. 163-176.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; ROSA, G. M.; CERETTA, C. A. Eds. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, 2001. p. 114-133.

RHEINHEIMER; D. S.; et al. Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico total no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 32, n 1, p 435-440, jan./fev. 2008.

RICHARDS, L. A., Physical conditions of water in soil. In: C. A. BLACK, D. D. et al., **Methods of soil analysis - Physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling**. Madison, ASA-SSSA, 1965. p.128-152.

ROTH, C. H. et al., Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, n.3, p.241-248, set./dez.1991.

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

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção de grãos e de pastagens sob plantio direto sobre o nível de fertilidade do solo após cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n 3, p. 645-653, jul./set. 2001.

SAUNDERS, L. C. U.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. Condutividade hidráulica da terra roxa estruturada em condições de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2, n 2, p.164-167, maio./ago. 1978.

SCAPINI, C. A. et al. Medição da densidade e porosidades do solo pelo método do cilindro e torrão parafinado em sistemas de preparo do solo e pastejo animal. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2.,1998, Santa Maria. **Anais Santa Maria**: UFSM, SBCS, 1998. 1 CDROM.

SILVA, I. F. ; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 21, p. 113-117, 1997.

SILVA, A. J. N. **Alterações físicas e químicas de um Argissolo Amarelo coeso sob diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar**. 2003. 120 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, A. J. N.; VAZ, M. S.; LIMA, J. F. W. F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v 29, n 6, p. 833-842, nov./dez. 2005.

SILVA, A. M. S. et al. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um argissolo vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v 30, n 2, p. 329-337, mar./abr. 2006.

SOARES, J. L. N.; ESPÍNDOLA, C. R.; CASTRO, S. S.; Alteração física e morfológica em solos cultivados sob sistema tradicional de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v, 29, n 6, p. 1005-1014, nov./dez. 2005.

SOIL CONSERVATION SERVICE. **Soil Survey Investigations**. Whashington, Ed: USDA, 1972, 63p, (Report n. 1).

STRECK, C. A. **Índice S e fluxo de água e ar em solos do sul do Brasil**. 2007. 96 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SUZUKI, L. E. A. S. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas**. 2005. 149 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

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

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, v.17, n.3, p.429-441, 1979.

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, n 4, p. 573-581, out./dez. 1998.

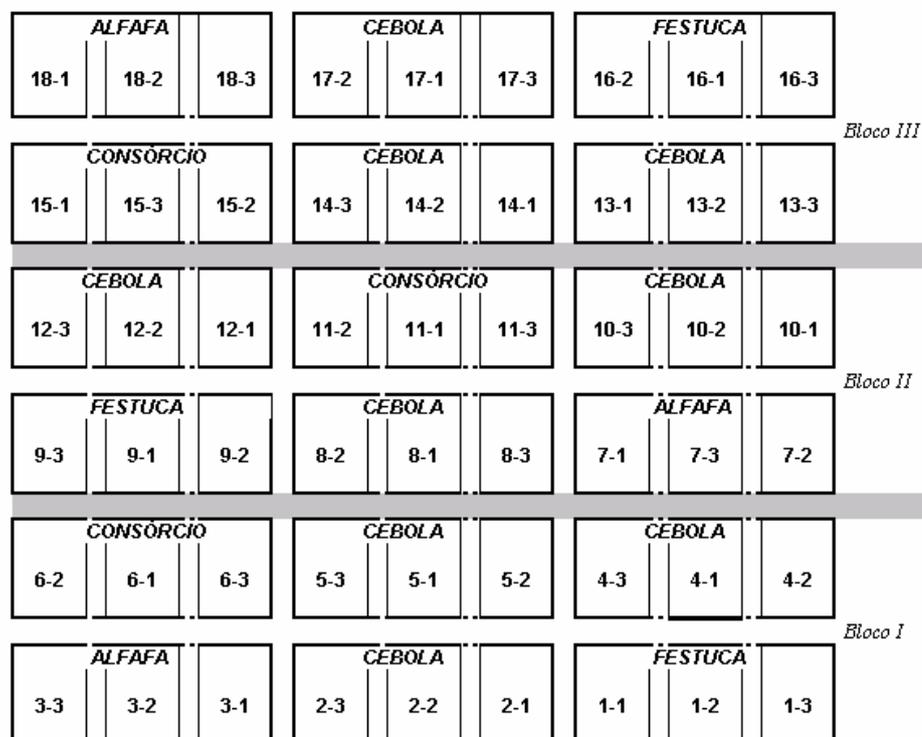
VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n 3, p. 892-898, nov. 1980.

VIANA, J. H. M.; FERNANDES, E. I. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. Efeitos de ciclos de umedecimento e secagem na reorganização da estrutura microgranular de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v 28, n 1, p 11-19, jan./fev 2004.

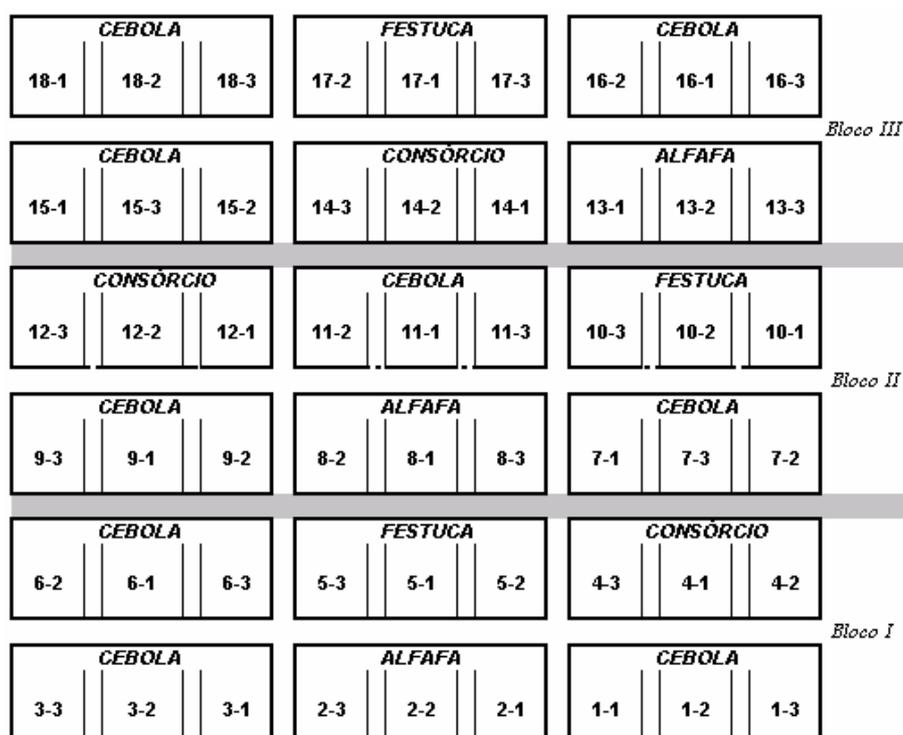
VICENTE, E.; CARREGA, G.; SPINA, W. 2003. La Variedad de Cebolla INIA CASERA. Hoja de divulgación INIA nº 80. **INIA**, Montevideo, 4p. 2005.

VOSSBRINK, J. **Bodenspannungen und deformationen in waldböden durch ernteverfahren**. 2005. 107 p. Schriftenreihe Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Universität Kiel, Kiel.

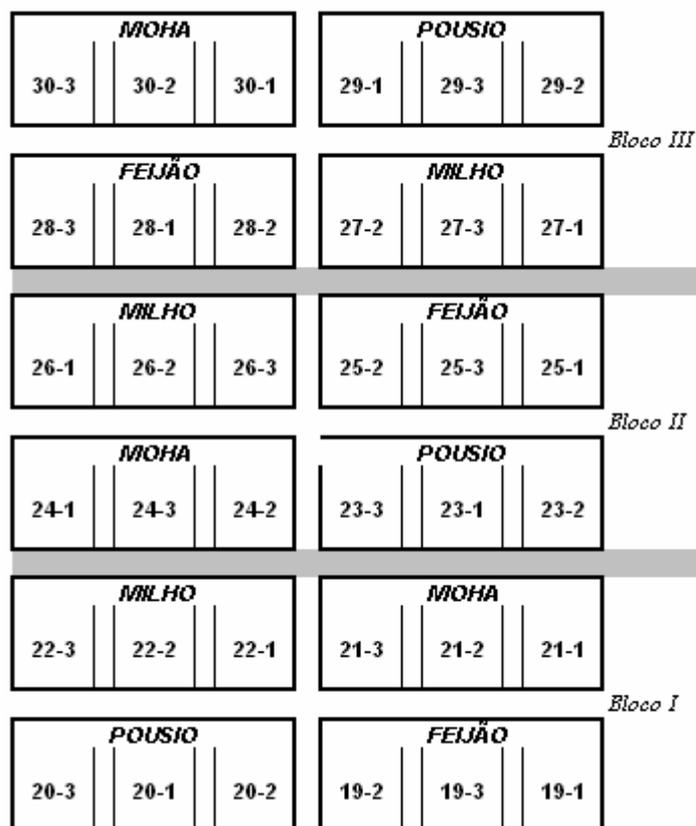
9 ANEXOS



Anexo 1 - Croqui do sistema agro-pastoril, Ciclos 1995-1997, 2001-2003 e 2007-2009 com diferentes tratamentos e doses de nitrogênio.



Anexo 2 - Croqui do sistema agro-pastoril, Ciclos 1998-2000 e 2004-2006 com diferentes tratamentos e doses de nitrogênio.



Anexo 3 - Croqui do experimento com culturas de verão contendo os diferentes tratamentos e doses de nitrogênio.

ANEXO 4 – Número de produtores e produção de cebola na safra 2001/2002 no Uruguai.

Níveis de produção	Produtores		Produção	
	Toneladas	Número	%	Número
< 5	626	55	1.500	11
5 a 15	355	31	3.400	25
> 15	164	14	8.793	64
Total	1.145	100	13.692	100

Fonte: Encuesta Hortícola Sur y Norte 2002-2003. Serie encuestas nº 218 (DIEA/JUNAGRA/PREDEG).

ANEXO 5 - Número de produtores e superfície plantada nas principais regiões produtoras de cebola no Uruguai para ano de 2000.

Departamento	Produtores		Superfície	
	Número	%	Número	%
Canelones	1.510	69	1.366	65
Salto	203	9	453	21
Restante do país	482	22	291	14
Total	2.195	100	2.110	100

Fonte: Censo General Agropecuario 2000, MGAP – DIEA.

10 APÊNDICES

Camada	Tratamentos						Média
	Cultivo anterior						
	Cebola	Cebola	Cebola	Alfafa	Festuca	Consórcio	
	Cultivo Atual						
	Alfafa	Festuca	Consórcio	Cebola	Cebola	Cebola	
m	Areia Grossa (g kg⁻¹)						
0,00-0,10	32,7	31,8	35,9	24,5	28,3	24,8	29,7
0,10-0,20	30,6	30,9	26,4	24,2	28,4	24,3	27,5
Média	31,7	31,4	31,2	24,3	28,4	24,6	
0,00-0,10	158,4	153,2	167,8	156,7	165,6	150,9	158,8
0,10-0,20	156,5	151,5	170,9	176,7	165,2	148,9	161,6
Média	157,5	152,4	169,3	166,7	165,4	149,9	
0,00-0,10	567,0	575,2	560,2	572,4	551,9	572,3	566,6
0,10-0,20	564,4	570,6	563,7	566,7	548,8	585,7	566,6
Média	565,7	572,9	562,0	569,5	550,3	579,0	
0,00-0,10	241,8	239,8	236,0	246,5	254,2	252,0	245,1
0,10-0,20	248,5	247,0	239,0	232,4	257,6	241,1	244,3
Média	245,2	243,4	237,5	239,4	255,9	246,6	
0,00-0,10	2,47	2,42	2,44	2,47	2,52	2,49	2,47
0,10-0,20	2,46	2,49	2,49	2,50	2,50	2,49	2,49
Média	2,46	2,46	2,47	2,48	2,51	2,49	

Apêndice A. Composição granulométrica do solo (g kg⁻¹) e valores de densidade de partículas (Mg m⁻³) para os diferentes tratamentos nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m no sistema agro-pastoril.

Camada	Tratamentos				Média
	Feijão	Pousio	Moha	Milho	
m	Areia Grossa (g kg⁻¹)				
0,00-0,10	15,6	28,9	25,5	26,1	24,0
0,10-0,20	28,4	28,3	34,1	25,2	29,0
Média	22,0	28,6	29,8	25,7	
	Areia Fina (g kg⁻¹)				
0,00-0,10	161,3	152,0	155,5	156,4	156,3
0,10-0,20	155,8	160,2	160,8	148,4	156,3
Média	158,5	156,1	158,2	152,4	
	Silte (g kg⁻¹)				
0,00-0,10	572,7	563,6	557,0	563,8	564,3
0,10-0,20	568,3	545,6	543,4	553,1	552,6
Média	572,7	563,6	557,0	563,8	
	Argila (g kg⁻¹)				
0,00-0,10	250,4	255,5	262,0	253,6	255,4
0,10-0,20	247,5	265,9	261,7	273,3	262,1
Média	248,9	260,7	261,9	263,4	
	Dp (Mg m⁻³)				
0,00-0,10	2,54	2,47	2,53	2,51	2,51
0,10-0,20	2,52	2,51	2,53	2,50	2,52
Média	2,53	2,49	2,53	2,51	

Apêndice B. Composição granulométrica do solo (g kg⁻¹) e valores de densidade de partículas (Mg m⁻³) para os diferentes tratamentos nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m no experimento com culturas de verão.

Dose (kg N ha ⁻¹)	Classe (mm)	Tratamentos					
		Cultivo anterior					
		Cebola	Cebola	Cebola	Alfafa	Festuca	Consórcio
		Cultivo atual					
		Alfafa	Festuca	Consórcio	Cebola	Cebola	Cebola
0	8,00-4,76	24,58a	36,69a	31,69a	13,62a	11,12a	11,81a
	4,76-2,00	10,37a	13,77a	12,16a	7,89a	7,68a	6,38a
	2,00-1,00	7,07a	5,60a	7,84a	7,46a	6,59a	6,75a
	1,00-0,25	17,35a	5,17b	13,62a	18,09a	20,45a	21,13a
	< 0,25	40,64a	38,77a	34,69a	52,94a	54,15a	53,94a
80	8,00-4,76	36,43a	44,86a	29,60a	11,25a	6,52a	8,43a
	4,76-2,00	13,67a	13,88a	11,53a	11,05a	5,09a	6,64a
	2,00-1,00	6,93a	5,41a	8,02a	6,70a	5,77a	5,96a
	1,00-0,25	10,89ab	7,20b	14,60ab	14,96ab	22,44a	20,75ab
	< 0,25	32,08a	28,65a	36,24a	56,03a	60,17a	58,22a
120	8,00-4,76	36,65a	37,34a	35,08a	5,15b	9,34b	6,33b
	4,76-2,00	11,06ab	13,56a	13,85a	5,52b	8,54ab	5,72b
	2,00-1,00	5,61a	5,66a	7,58a	4,63a	6,73a	5,28a
	1,00-0,25	12,17a	8,01a	12,33a	18,93a	20,93a	21,41a
	< 0,25	34,51b	35,43b	12,33a	65,76a	54,46a	61,26a

Apêndice C. Distribuição do tamanho de agregados (%) analisados via úmida nos diferentes tratamentos do sistema agro-pastoril na primeira coleta.
Letras minúsculas iguais na linha não diferem entre si nos diferentes tratamentos pelo teste de Tukey a 5%.

Dose (kg N ha ⁻¹)	Classe (mm)	Tratamentos					
		Cultivo anterior					
		Cebola	Cebola	Cebola	Alfafa	Festuca	Consórcio
		Cultivo atual					
		Alfafa	Festuca	Consórcio	Cebola	Cebola	Cebola
0	8,00-4,76	53,41ab	40,80bc	60,25a	30,94c	25,11c	24,29c
	4,76-2,00	18,86a	17,69a	18,14a	16,28a	13,59a	13,29a
	2,00-1,00	8,28a	8,71a	8,05a	11,23a	10,69a	11,22a
	1,00-0,25	9,19b	9,25b	6,82b	21,16a	24,27a	26,09a
	< 0,25	10,25a	23,55a	6,73a	20,39a	26,35a	25,10a
80	8,00-4,76	61,47ab	68,26a	64,37a	36,24bc	28,22c	36,24bc
	4,76-2,00	15,69a	14,20a	17,67a	17,04a	13,91a	14,12a
	2,00-1,00	7,19ab	5,34b	6,58ab	11,01a	11,26a	10,05ab
	1,00-0,25	6,92bc	5,12c	5,36c	19,88a	22,78a	19,08ab
	< 0,25	8,73ab	7,08b	6,02b	15,82ab	23,84a	20,52ab
120	8,00-4,76	62,12a	57,10ab	55,60ab	40,55bc	28,33c	30,86c
	4,76-2,00	15,51ab	17,88ab	21,10a	16,91ab	13,62b	14,83ab
	2,00-1,00	6,36c	7,93bc	7,64bc	10,76ab	11,52a	12,14a
	1,00-0,25	7,14b	8,02b	6,90b	17,28ab	23,82a	22,18a
	< 0,25	8,87b	9,07b	8,77b	14,50ab	22,72a	19,98ab

Apêndice D. Distribuição do tamanho de agregados (%) analisados via úmida nos diferentes tratamentos do sistema agro-pastoril na segunda coleta.

Letras minúsculas iguais na linha não diferem entre si nos diferentes tratamentos pelo teste de Tukey a 5%.

Dose (kg N ha ⁻¹)	Classe (mm)	Tratamentos					
		Cultivo anterior					
		Cebola	Cebola	Cebola	Alfafa	Festuca	Consórcio
		Cultivo atual					
		Alfafa	Festuca	Consórcio	Cebola	Cebola	Cebola
0	8,00-4,76	34,16b	45,80ab	51,07a	15,46c	17,62c	14,96c
	4,76-2,00	12,22a	14,61a	14,47a	8,71a	10,79a	8,33a
	2,00-1,00	8,96a	7,27a	7,88a	7,62a	9,45a	9,94a
	1,00-0,25	12,57b	11,10b	10,25b	24,40a	21,57a	22,69a
	< 0,25	32,09abc	21,21bc	16,32c	43,81a	40,56ab	44,08a
80	8,00-4,76	36,04ab	51,08a	41,83ab	21,81ab	23,29ab	18,67b
	4,76-2,00	14,32a	15,23a	15,34a	9,75a	9,94a	10,42a
	2,00-1,00	7,78a	7,48a	8,79a	11,55a	8,00a	8,73a
	1,00-0,25	12,29b	10,39b	11,61b	22,20a	16,95ab	20,68a
	< 0,25	29,57a	15,82a	22,44a	34,68a	41,83a	41,50a
120	8,00-4,76	38,30a	43,03a	45,82a	17,40ab	13,71b	17,20ab
	4,76-2,00	11,05ab	16,38a	15,66ab	10,73ab	9,43b	10,27ab
	2,00-1,00	7,54a	7,87a	8,3a	9,73a	10,12a	10,75a
	1,00-0,25	13,09b	12,29b	11,55b	25,68a	25,29a	24,85a
	< 0,25	30,03ab	20,42b	18,67b	36,46ab	41,44a	36,92ab

Apêndice E. Distribuição do tamanho de agregados (%) analisados via úmida nos diferentes tratamentos do sistema agro-pastoril na terceira coleta.
Letras minúsculas iguais na linha não diferem entre si nos diferentes tratamentos pelo teste de Tukey a 5%.

Dose (kg N ha ⁻¹)	Classe (mm)	Tratamentos					
		Cultivo anterior					
		Cebola	Cebola	Cebola	Alfafa	Festuca	Consórcio
		Cultivo atual					
		Alfafa	Festuca	Consórcio	Cebola	Cebola	Cebola
0	8,00-4,76	28,42a	27,81a	32,64a	15,66a	17,31a	13,42a
	4,76-2,00	14,04a	10,99a	12,08a	9,68a	8,02a	7,89a
	2,00-1,00	9,32a	7,32a	9,85a	8,30a	7,78a	7,20a
	1,00-0,25	17,09a	14,12a	17,71a	20,46a	20,07a	18,98a
	< 0,25	31,13ab	39,77ab	27,73b	45,89ab	46,82ab	52,51a
80	8,00-4,76	37,66a	31,93a	36,05a	18,65a	16,08a	23,67a
	4,76-2,00	14,36a	12,58a	13,75a	11,83a	10,05a	10,28a
	2,00-1,00	8,15a	9,12a	8,30a	9,49a	8,40a	7,95a
	1,00-0,25	13,42a	15,07a	13,66a	21,30a	19,46a	18,66a
	< 0,25	26,41a	31,30a	28,24a	38,73a	46,02a	39,44a
120	8,00-4,76	34,59a	31,94ab	32,31ab	17,05bc	14,36c	16,72bc
	4,76-2,00	12,80a	13,32a	12,20a	8,66a	9,29a	8,77a
	2,00-1,00	8,72a	8,99a	8,40a	8,09a	8,89a	8,10a
	1,00-0,25	14,79a	14,91a	15,72a	18,56a	20,25a	22,33a
	< 0,25	29,10a	30,8a	31,37a	47,64a	47,22a	44,08a

Apêndice F. Distribuição do tamanho de agregados (%) analisados via úmida nos diferentes tratamentos do sistema agro-pastoril na quarta coleta.

Letras minúsculas iguais na linha não diferem entre si nos diferentes tratamentos pelo teste de Tukey a 5%.

Dose (kg N ha ⁻¹)	Classe (mm)	Tratamentos			
		Feijão	Pousio	Moha	Milho
0	8,00-4,76	7,11b	17,89a	12,19ab	9,26b
	4,76-2,00	6,50b	8,93ab	9,86a	8,66ab
	2,00-1,00	5,49a	7,22 ^a	8,85a	8,23a
	1,00-0,25	16,92a	18,21a	19,03a	20,22a
	< 0,25	63,97a	47,75a	50,07ab	53,62ab
80	8,00-4,76	7,42a	12,57a	13,82a	13,26a
	4,76-2,00	6,36a	8,17 ^a	8,51a	8,80a
	2,00-1,00	5,43b	7,26 ^a	6,50ab	7,63a
	1,00-0,25	16,80a	19,58a	16,58a	17,68a
	< 0,25	63,98a	52,42a	54,59a	52,63a
120	8,00-4,76	13,30ab	9,27b	22,97a	9,92b
	4,76-2,00	8,05bc	7,07c	11,16a	8,49b
	2,00-1,00	6,45a	9,37 ^a	8,58a	8,20a
	1,00-0,25	17,37b	24,76a	16,39b	18,24b
	< 0,25	54,82a	49,53a	40,90b	55,15a

Apêndice G. Distribuição do tamanho de agregados (%) analisados via úmida nos diferentes tratamentos do experimento com culturas de verão na primeira coleta.
Letras minúsculas iguais na linha não diferem entre si nos diferentes tratamentos pelo teste de Tukey a 5%.

Dose (kg N ha ⁻¹)	Classe (mm)	Tratamentos			
		Feijão	Pousio	Moha	Milho
0	8,00-4,76	20,90a	43,10a	36,28a	31,34a
	4,76-2,00	9,73a	15,67a	13,63a	12,99a
	2,00-1,00	8,01a	8,95a	8,92a	8,62a
	1,00-0,25	19,14a	15,12a	18,11a	18,21a
	< 0,25	42,22a	17,17b	23,06ab	28,84ab
80	8,00-4,76	34,47a	43,53a	39,11a	30,70a
	4,76-2,00	12,48a	15,43a	13,63a	13,74a
	2,00-1,00	7,31a	9,49a	9,70a	9,12a
	1,00-0,25	15,76a	16,35a	17,21a	18,62a
	< 0,25	29,98a	15,21b	20,34ab	27,82a
120	8,00-4,76	29,29a	39,01a	37,25a	33,76a
	4,76-2,00	11,20a	16,40a	15,51a	14,50a
	2,00-1,00	7,92b	11,90a	9,76ab	9,93ab
	1,00-0,25	19,44a	17,19a	16,54a	17,40a
	< 0,25	32,15a	15,50a	20,95a	24,41a

Apêndice H. Distribuição do tamanho de agregados (%) analisados via úmida nos diferentes tratamentos do experimento com culturas de verão na segunda coleta.
Letras minúsculas iguais na linha não diferem entre si nos diferentes tratamentos pelo teste de Tukey a 5%.

Dose (kg N ha ⁻¹)	Classe (mm)	Tratamentos			
		Feijão	Pousio	Moha	Milho
0	8,00-4,76	3,43b	23,33a	27,77a	15,54ab
	4,76-2,00	3,73c	11,60a	7,77b	5,98bc
	2,00-1,00	5,41b	10,09b	5,56a	5,05b
	1,00-0,25	19,92a	20,11a	14,41a	16,36a
	< 0,25	67,51a	34,87c	44,49bc	57,07ab
80	8,00-4,76	17,46ab	30,39a	21,38ab	6,46b
	4,76-2,00	8,07a	9,76a	9,13a	5,46a
	2,00-1,00	5,97ab	7,68a	6,62ab	5,61b
	1,00-0,25	17,29a	18,17a	18,04a	18,55a
	< 0,25	51,21ab	34,00b	44,83ab	63,92a
120	8,00-4,76	7,15a	11,66a	28,65a	12,81a
	4,76-2,00	5,83a	7,53a	9,55a	7,50a
	2,00-1,00	6,32a	6,31a	6,19a	6,60a
	1,00-0,25	22,05a	20,86ab	12,51b	19,97ab
	< 0,25	58,65a	53,64a	43,09a	53,12a

Apêndice I. Distribuição do tamanho de agregados (%) analisados via úmida nos diferentes tratamentos do experimento com culturas de verão na terceira coleta.
Letras minúsculas iguais na linha não diferem entre si nos diferentes tratamentos pelo teste de Tukey a 5%.

Dose (kg N ha ⁻¹)	Classe (mm)	Tratamentos			
		Feijão	Pousio	Moha	Milho
0	8,00-4,76	30,89a	42,86a	33,36a	27,59a
	4,76-2,00	11,59a	15,36a	14,02a	12,40a
	2,00-1,00	6,25a	9,41a	7,98a	8,46a
	1,00-0,25	14,12a	14,69a	14,06a	18,43a
	< 0,25	37,15a	17,68a	30,59a	33,12a
80	8,00-4,76	20,44b	37,15a	37,87a	29,00ab
	4,76-2,00	9,11c	18,14a	14,09b	12,21bc
	2,00-1,00	7,03a	8,86a	6,73a	7,81a
	1,00-0,25	16,68a	13,99a	12,46a	16,31a
	< 0,25	46,73a	21,86c	28,84bc	34,68b
120	8,00-4,76	18,64b	45,68a	40,24a	40,23a
	4,76-2,00	8,63c	17,98a	13,41b	11,12bc
	2,00-1,00	8,05ab	8,67a	6,78b	6,49b
	1,00-0,25	18,64a	11,74b	11,64b	14,04b
	< 0,25	46,04a	15,94b	27,92b	28,12b

Apêndice J. Distribuição do tamanho de agregados (%) analisados via úmida nos diferentes tratamentos do experimento com culturas de verão na quarta coleta.
Letras minúsculas iguais na linha não diferem entre si nos diferentes tratamentos pelo teste de Tukey a 5%.

Tratamentos							
Cultivo anterior							
Tensão kPa	Cebola	Cebola	Cebola	Alfafa	Festuca	Consórcio	Média
	Cultivo atual						
	Alfafa	Festuca	Consórcio	Cebola	Cebola	Cebola	
$K_a \mu\text{m}^2$							
Camada 0,00-0,010 m							
-6	0,36	0,29	0,05	0,47	0,12	1,19	0,42
-10	0,36	0,33	0,06	0,64	0,15	1,30	0,48
-100	0,42	0,49	0,08	0,86	0,18	1,53	0,59
Média	0,38	0,37	0,06	0,66	0,15	1,34	
$E_a \text{m}^3 \text{m}^{-3}$							
Camada 0,00-0,010 m							
-6	0,09	0,17	0,07	0,17	0,09	0,22	0,14
-10	0,11	0,19	0,10	0,20	0,11	0,24	0,16
-100	0,16	0,25	0,14	0,25	0,16	0,29	0,21
Média	0,12	0,20	0,10	0,21	0,12	0,25	
$K_a \mu\text{m}^2$							
Camada 0,10-0,020 m							
-6	0,04	1,00	0,05	0,11	0,05	1,38	0,44
-10	0,05	1,14	0,08	0,18	0,07	1,56	0,52
-100	0,08	1,48	0,11	0,27	0,10	1,85	0,65
Média	0,06	1,21	0,08	0,19	0,08	1,60	
$E_a \text{m}^3 \text{m}^{-3}$							
Camada 0,10-0,020 m							
-6	0,07	0,15	0,07	0,08	0,08	0,15	0,10
-10	0,08	0,17	0,09	0,09	0,10	0,17	0,12
-100	0,12	0,21	0,14	0,13	0,14	0,21	0,16
Média	0,09	0,17	0,10	0,10	0,11	0,18	

Apêndice K. Permeabilidade ao ar ($K_a \mu\text{m}^2$) e espaço aéreo ($E_a \text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos diferentes tratamentos do sistema agro-pastoril em diferentes umidades: equivalente a tensão de -6, -10 e -100 kPa em duas profundidades: 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m na 2ª coleta.

Tratamentos							
Cultivo anterior							
Tensão kPa	Cebola	Cebola	Cebola	Alfafa	Festuca	Consórcio	Média
	Cultivo atual						
	Alfafa	Festuca	Consórcio	Cebola	Cebola	Cebola	
$K_a \mu\text{m}^2$							
Camada 0,00-0,010 m							
-6	0,07	0,13	0,23	0,80	1,15	1,20	0,60
-10	0,08	0,20	0,18	0,57	1,27	0,94	0,54
-100	0,13	0,20	0,34	0,74	1,70	1,31	0,74
Média	0,09	0,18	0,25	0,71	1,37	1,15	
$E_a \text{m}^3 \text{m}^{-3}$							
Camada 0,00-0,010 m							
-6	0,04	0,04	0,04	0,15	0,18	0,15	0,10
-10	0,06	0,06	0,05	0,17	0,20	0,17	0,12
-100	0,10	0,09	0,09	0,21	0,24	0,20	0,16
Média	0,07	0,06	0,06	0,18	0,21	0,17	
$K_a \mu\text{m}^2$							
Camada 0,10-0,020 m							
-6	0,02	0,03	0,09	0,30	0,25	0,31	0,17
-10	0,03	0,12	0,12	0,31	0,27	0,25	0,19
-100	0,06	0,19	0,20	0,61	0,53	0,38	0,33
Média	0,04	0,12	0,14	0,40	0,35	0,31	
$E_a \text{m}^3 \text{m}^{-3}$							
Camada 0,10-0,020 m							
-6	0,03	0,04	0,04	0,09	0,07	0,06	0,05
-10	0,04	0,05	0,05	0,10	0,08	0,07	0,07
-100	0,07	0,08	0,08	0,14	0,12	0,10	0,10
Média	0,05	0,05	0,06	0,11	0,09	0,07	

Apêndice L. Permeabilidade ao ar ($K_a \mu\text{m}^2$) e espaço aéreo ($E_a \text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos diferentes tratamentos do sistema agro-pastoril em diferentes umidades: equivalente a tensão de -6, -10 e -100 kPa em duas profundidades: 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m na 3ª coleta.

Tratamentos							
Cultivo anterior							
Tensão kPa	Cebola	Cebola	Cebola	Alfafa	Festuca	Consórcio	Média
	Cultivo atual						
	Alfafa	Festuca	Consórcio	Cebola	Cebola	Cebola	
$K_a \mu\text{m}^2$							
Camada 0,00-0,010 m							
-6	4,29	4,15	4,14	0,45	1,51	1,44	2,66
-10	4,36	4,64	4,25	0,58	1,63	1,86	2,89
-100	4,54	4,76	4,59	0,87	1,88	2,32	3,16
Média	4,40	4,52	4,33	0,63	1,67	1,87	
$E_a \text{m}^3 \text{m}^{-3}$							
Camada 0,00-0,010 m							
-6	0,24	0,25	0,25	0,12	0,15	0,20	0,20
-10	0,25	0,27	0,27	0,14	0,17	0,22	0,22
-100	0,28	0,29	0,29	0,16	0,20	0,24	0,24
Média	0,26	0,27	0,27	0,14	0,17	0,22	
$K_a \mu\text{m}^2$							
Camada 0,10-0,020 m							
-6	2,95	3,09	3,00	0,05	0,03	0,18	1,55
-10	3,05	3,49	3,13	0,08	0,05	0,31	1,68
-100	3,30	3,87	3,67	0,15	0,53	0,57	2,01
Média	3,10	3,48	3,26	0,09	0,20	0,35	
$E_a \text{m}^3 \text{m}^{-3}$							
Camada 0,10-0,020 m							
-6	0,20	0,21	0,20	0,03	0,02	0,07	0,12
-10	0,22	0,23	0,22	0,04	0,03	0,08	0,14
-100	0,24	0,24	0,24	0,06	0,05	0,10	0,16
Média	0,22	0,23	0,22	0,05	0,03	0,08	

Apêndice M. Permeabilidade ao ar ($K_a \mu\text{m}^2$) e espaço aéreo ($E_a \text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos diferentes tratamentos do sistema agro-pastoril em diferentes umidades: equivalente a tensão de -6, -10 e -100 kPa em duas profundidades: 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m na 4ª coleta.

Tensão kPa	Tratamentos				Média
	Feijão	Pousio	Moha	Milho	
$K_a \mu\text{m}^2$					
Camada 0,00-0,010 m					
-6	0,17	0,56	0,54	0,28	0,39
-10	0,24	0,63	0,93	0,38	0,55
-100	0,39	0,89	0,99	0,89	0,79
Média	0,27	0,69	0,82	0,52	
$E_a \text{m}^3 \text{m}^{-3}$					
Camada 0,00-0,010 m					
-6	0,09	0,15	0,13	0,14	0,13
-10	0,12	0,17	0,16	0,16	0,15
-100	0,16	0,21	0,20	0,21	0,19
Média	0,12	0,18	0,16	0,17	
$K_a \mu\text{m}^2$					
Camada 0,10-0,020 m					
-6	0,29	0,64	0,22	0,02	0,29
-10	0,51	0,82	0,25	0,03	0,40
-100	0,82	1,12	0,40	0,06	0,60
Média	0,54	0,86	0,29	0,04	
$E_a \text{m}^3 \text{m}^{-3}$					
Camada 0,10-0,020 m					
-6	0,09	0,11	0,09	0,04	0,09
-10	0,12	0,13	0,11	0,06	0,10
-100	0,16	0,16	0,15	0,09	0,14
Média	0,12	0,13	0,12	0,06	

Apêndice N. Permeabilidade ao ar ($K_a \mu\text{m}^2$) e espaço aéreo ($E_a \text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos diferentes tratamentos do experimento com culturas de verão em diferentes umidades: equivalente a tensão de -6, -10 e -100 kPa em duas profundidades: 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m na 2ª coleta.

Tensão kPa	Tratamentos				Média
	Feijão	Pousio	Moha	Milho	
$K_a \mu\text{m}^2$					
Camada 0,00-0,010 m					
-6	0,13	0,20	0,11	0,54	0,24
-10	0,16	0,53	0,17	0,63	0,37
-100	0,26	0,49	0,28	0,44	0,37
Média	0,18	0,41	0,19	0,54	
$E_a \text{m}^3 \text{m}^{-3}$					
Camada 0,00-0,010 m					
-6	0,08	0,04	0,04	0,07	0,06
-10	0,09	0,05	0,05	0,08	0,07
-100	0,11	0,08	0,07	0,11	0,09
Média	0,09	0,05	0,05	0,09	
$K_a \mu\text{m}^2$					
Camada 0,10-0,020 m					
-6	0,04	0,03	0,01	0,03	0,03
-10	0,06	0,02	0,01	0,04	0,03
-100	0,23	0,04	0,02	0,08	0,09
Média	0,11	0,03	0,01	0,05	
$E_a \text{m}^3 \text{m}^{-3}$					
Camada 0,10-0,020 m					
-6	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01
-10	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02
-100	0,05	0,04	0,02	0,04	0,04
Média	0,03	0,02	0,01	0,03	

Apêndice O. Permeabilidade ao ar ($K_a \mu\text{m}^2$) e espaço aéreo ($E_a \text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos diferentes tratamentos do experimento com culturas de verão em diferentes umidades: equivalente a tensão de -6, -10 e -100 kPa em duas profundidades: 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m na 3ª coleta.

Tensão kPa	Tratamentos				Média
	Feijão	Pousio	Moha	Milho	
$K_a \mu m^2$					
Camada 0,00-0,010 m					
-6	2,56	3,94	2,98	3,41	3,22
-10	3,06	4,18	3,28	4,17	3,67
-100	3,45	4,37	3,67	4,45	3,99
Média	3,02	4,17	3,31	4,01	
$E_a m^3 m^{-3}$					
Camada 0,00-0,010 m					
-6	0,19	0,23	0,14	0,19	0,19
-10	0,21	0,25	0,15	0,21	0,20
-100	0,23	0,27	0,17	0,23	0,23
Média	0,21	0,25	0,16	0,21	
$K_a \mu m^2$					
Camada 0,10-0,020 m					
-6	2,82	3,54	1,85	2,16	2,59
-10	3,58	3,72	2,13	2,36	2,95
-100	3,89	3,83	2,66	2,78	3,29
Média	3,43	3,70	2,21	2,43	
$E_a m^3 m^{-3}$					
Camada 0,10-0,020 m					
-6	0,19	0,19	0,15	0,18	0,18
-10	0,20	0,20	0,16	0,19	0,19
-100	0,23	0,23	0,18	0,22	0,21
Média	0,21	0,21	0,16	0,19	

Apêndice P. Permeabilidade ao ar ($K_a \mu m^2$) e espaço aéreo ($E_a m^3 m^{-3}$) nos diferentes tratamentos do experimento com culturas de verão em diferentes umidades: equivalente a tensão de -6, -10 e -100 kPa em duas profundidades: 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m na 4ª coleta.

Dose	Tratamento		
	Alfafa	Consórcio	Festuca
	Massa Seca		Sementes
(kg N ha ⁻¹)	Ton ha ⁻¹		
0	7,3	4,7	2,3
80	6,9	5,6	1,9
120	8,1	5,5	2,9

Apêndice Q. Produtividade das pastagens cultivadas no sistema agro-pastoril.

Dose	Tratamento		
	Cultivo anterior		
	Alfafa	Festuca	Consórcio
	Cultivo atual		
	Cebola	Cebola	Cebola
(kg N ha ⁻¹)	Ton ha ⁻¹		
0	27,1	20,6	24,6
80	31,7	16,8	21,0
120	26,7	21,4	23,3

Apêndice R. Produtividade da cebola cultivada no sistema agro-pastoril.

Dose	Tratamento			
	Feijão	Pousio	Moha	Milho
(kg N ha ⁻¹)	Ton ha ⁻¹			
0	15,7	27,5	17,3	11,8
80	14,6	32,4	12,5	13,8
120	14,5	26,8	13,6	11,3

Apêndice S. Produtividade de cebola cultivada no experimento com culturas de verão.