

BELO AFONSO MUETANENE

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM CAMBISSOLO
HÚMICO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO DE CEBOLA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra

**LAGES, SC
2015**

Muetanene, Belo Afonso
Atributos físicos e químicos de um Cambissolo Húmico em sistema plantio
direto de cebola / Belo Afonso Muetanene. – Lages, 2015.
117 p. : il. ; 21 cm

Orientador: Álvaro Luiz Mafra

Bibliografia: p. 101-117

Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, Lages, 2015.

1. Rotação de culturas 2. Fertilidade do solo. 3. Conservação do solo.
4. *Allium cepa*. I. Muetanene, Belo Afonso. II. Mafra, Álvaro Luiz. III.
Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo. IV. Título

Ficha catalográfica elaborada pelo aluno.

BELO AFONSO MUETANENE

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM CAMBISSOLO
HÚMICO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO DE CEBOLA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Aprovado em: ____/____/____

Homologado em: ____/____/____

Banca Examinadora:

Orientador/presidente
Dr. Álvaro Luiz Mafra
(UDESC/Lages – SC)

Membro Externo
Dr. Arcângelo Loss
(UFSC/Florianópolis-SC)

Membro
Dr. Luiz Paulo Rauber
(UDESC/Lages – SC)

Dedicado a: Aida Florinda
(*in memoriam*), Eshley Muetanene,
Percius Muetanene e Farida Mónica

AGRADECIMENTOS

A DEUS pelo dom da Vida.

A minha mãe Aida Florinda, por tudo e muito mais.

A UDESC-CAV pela oportunidade de cursar o Mestrado em Ciência do Solo, um sonho sendo realizado.

Ao Prof. Dr Álvaro Luiz Mafra pela disponibilidade em me orientar e acompanhamento ao longo dos 2 anos em Lages e a Claudinei Kurtz da Epagri.

Aos colegas do Laboratório: Erbesson, Diego, Walter, Ana, Cléber, Gabriel, Daniel, Sulian e todos os outros que estiveram sempre disponíveis em me dar a mão.

Aos amores da minha vida: Farida Mónica e Eshley Muetanene, Percius Muetanene, sem dúvida eternas alegrias da minha vida.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos e a UNILÚRIO por permitir a minha saída para continuação da minha jornada acadêmica.

RESUMO

MUETANENE, Belo Afonso. **Atributos físicos e químicos de um Cambissolo Húmico em sistema plantio direto de cebola.** 2015. 117 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)- Universidade do Estado de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2015.

Diferentes sistemas de manejo do solo podem causar alterações químicas, físicas e biológicas do solo. O objetivo desta pesquisa foi avaliar atributos físicos e químicos do solo em um experimento envolvendo rotação de culturas e plantio direto de cebola e sua relação com a produtividade de bulbos. Este experimento foi conduzido na Estação Experimental da Epagri em Ituporanga, SC, em Cambissolo Húmico Distrófico, após 8 anos da implantação do sistema de plantio direto e rotação de culturas para a cebola. Os tratamentos foram: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC (preparo convencional): rotação de coberturas e cebola anual e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. As amostras para o estudo foram coletadas nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Os atributos físicos avaliados foram: resistência a penetração, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, grau de floculação, condutividade hidráulica saturada, estabilidade de agregados e os atributos químicos foram: Ca, Mg, K, P, N, Al trocável, acidez potencial, pH-H₂O, pH-CaCl₂, carbono orgânico total (COt), carbono orgânico particulado (COp), carbono orgânico associado aos minerais (COam). A estabilidade de agregados na camada de 0-5 cm foi menor no sistema convencional em relação aos sistemas conservacionistas. Para os atributos

químicos do solo, os teores de Ca, Mg, K, COt e COam foram semelhantes em todas as camadas avaliadas. O sistema plantio direto quando associado a rotação de culturas pode contribuir para a melhoria da estrutura do solo e manutenção dos teores de matéria orgânica na camada superficial do solo.

Palavras-chave. Rotação de culturas. Fertilidade do solo. Conservação do solo. *Allium cepa*.

ABSTRACT

MUETANENE, Belo Afonso. **Soil physical and chemical attributes in no-tillage system of onion**. 2015. 117 p. Dissertation (Master in Soil Science)- University of the State of Santa Catarina, Postgraduate Program in Soil Science, Lages, 2014.

Different soil management systems may cause chemical, physical and biological changes in the soil. The objective of this research was to evaluate chemical and physical soil attributes in an experiment involving crops rotations and no-tillage system for onion productions and its relationship with bulbs production. This experiment was conducted at an Experimental Station belonging to EPAGRI and located in Ituporanga, SC in a Humic Dystrophic Cambisol, 8 years after the implantation of the no-tillage system and crops rotation for onion, the treatments evaluated were: T1: maize-onion (succession), T2: commercial rotation-biennial onion, T3: maize-biennial onion, T4:maize-velvet-onion, T5: soil coverage grass-annual onion, T6: legumes coverage-annual onion, conventional tillage system (CTS): coverage crops rotation-annual onion and T8: coverage crops consortium-annual onion. The soil samples for the analysis were collected at the layers of 0-5, 5-10 and 10-20 cm. The physical attributes evaluated were: stability of soil aggregates, total porosity, macroporosity, microporosity, bulk density, clays flocculation degree, saturated hydraulic conductivity, resistance to soil penetration and the chemical attributes were: total organic carbon, particulate carbon, carbon associated to minerals, total nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, calcium, aluminium, pH-H₂O and pH-CaCl₂, potential acidity. The treatments had different effects on the physical attributes, the increase of the resistance to soil penetration and bulk density

reduced the macroporosity and the total porosity, at the layer of 0-5 cm, the conventional tillage system had lower aggregate stability than the no-tillage system. The concentrations of Ca, Mg, K, total organic carbon and carbon associated to minerals were similar in all the treatments. The no-tillage system when associated to crops rotations may improve the soil structure and increase the total organic carbon at the layer of 0-5 cm. The treatment T6 presented the highest yield of onion and PC the lowest.

Keywords: Crops rotation. Soil fertility. Soil conservation.
Allium cepa.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1- A (primeira à esquerda)-Vista do experimento-
Estação Experimental da EPAGRI em Ituporanga-
fase de cultivo da cebola em SPD em rotação
de culturas. B- Área experimental em fase de
coleta da cebola. 53
- Figura 2- Resistência a penetração em um Cambissolo
Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas
de manejo e rotação de culturas para cebola, em
Ituporanga, SC..... 56
- Figura 3- Condutividade hidráulica saturada em um
Cambissolo Húmico Distrófico em função dos
diferentes sistemas de manejo e rotação de
culturas para cebola, em Ituporanga, SC..... 58
- Figura 4- Densidade do solo em um Cambissolo
Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas
de manejo e rotação de culturas para cebola,
em Ituporanga, SC..... 60
- Figura 5- Microporosidade em um Cambissolo
Húmico Distrófico em função dos diferentes
sistemas de manejo e rotação de culturas para
cebola, em Ituporanga, SC. 61
- Figura 6- Macroporosidade em um Cambissolo
Húmico Distrófico em função dos diferentes
sistemas de manejo e rotação de culturas para
cebola, em Ituporanga, SC. 63

Figura 7- Porosidade total em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC.	64
Figura 8- Relação macroporosidade/Porosidade total em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC.	65
Figura 9- Diâmetro médio geométrico em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC.	67
Figura 10- Grau de flocculação em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC.	68
Figura 11- Al trocável em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC.	80

Figura 12- Acidez potencial em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC.....	81
Figura 13- Carbono orgânico total em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC.....	85
Figura 14- Carbono orgânico particulado em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC.	86
Figura 15- Carbono orgânico associado aos minerais em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC.	88
Figura 16- Relações CO_p/CO_t e CO_{am}/CO_t por camada, em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC.	90

Figura 17- Teores de Ca em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC.....	91
Figura 18- Teores de Mg em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC.....	92
Figura 19- Teores de K em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC.....	93
Figura 20- Teores de P em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC.....	95
Figura 21- Teores de N em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC.....	96

Figura 22- Rendimento médio total de cebola na safra de 2014 em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas, em Ituporanga, SC. 98

Figura 23-Rendimento médio total de cebola nas safras de 2011-2013 em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas, em Ituporanga, SC.....99

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1- Tratamentos implantados na rotação de culturas para cultivo de cebola sob manejo conservacionista do solo, de 2007 a 2014, Ituporanga, SC. 49
- Tabela 2- pH-H₂O e pH-CaCl₂ em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC..... 83

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	33
1.1 HIPÓTESES	34
1.2 OBJETIVO GERAL.....	35
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	35
2 REFERENCIAL TEÓRICO	36
2.1 USO DO SOLO NO CULTIVO DA CEBOLA	36
2.2 SISTEMA PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS....	38
2.2.1 RESPOSTA DA CULTURA DA CEBOLA	40
3 CAPÍTULO I-ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM	
CAMBISSOLO HÚMICO EM SISTEMA	
PLANTIO DIRETO DE CEBOLA.	42
3.1 RESUMO.....	42
3.2 ABSTRACT	44
3.3 INTRODUÇÃO.....	46
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	48
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
3.5.1 Resistência do solo a penetração.....	55
3.5.2 Condutividade hidráulica saturada.....	56
4.5.3 Densidade do solo.....	58
3.5.4 Microporosidade, macroporosidade e porosidade	
total.....	60
3.5.5 Estabilidade de agregados.....	65
3.5.6 Grau de floculação	67
3.6 CONCLUSÕES	69

4 CAPÍTULO II – ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM CAMBISSOLO HÚMICO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO DE CEBOLA	70
4.1 RESUMO.....	70
4.2 ABSTRACT	72
4.3 INTRODUÇÃO.....	74
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	76
4.5.1 Al trocável, acidez ativa e potencial	79
4.5.2 Carbono orgânico total do solo, carbono particulado e associado aos minerais	84
4.5.3 Ca, Mg e K.....	91
4.5.4 P e N	94
4.5.5 Rendimento de cebola	97
REFERÊNCIAS	101

1 INTRODUÇÃO GERAL

O solo é composto pelas fases líquida, sólida e gasosa, sendo substrato natural para o crescimento e desenvolvimento das plantas. O mau manejo do solo deteriora suas propriedades físicas, químicas e biológicas e pode reduzir os rendimentos das culturas e a qualidade do solo, assim como causar problemas ambientais.

A região Sul do Brasil vem sendo alvo de estudos sobre processos de conservação dos recursos naturais e os questionamentos relacionados às modificações ambientais têm se acentuado, principalmente aqueles causados pela atividade humana, como a redução da biodiversidade, a degradação do solo, a contaminação da água e a emissão de gases de efeito estufa.

A região do Alto Vale do Itajaí é grande produtora de cebola (*Allium cepa* L.) e muitas vezes o seu cultivo é feito em regiões declivosas, em solos rasos, em avançado estágio de degradação, especialmente no que se refere à perda do horizonte superficial por erosão, e alterações estruturais decorrentes do revolvimento excessivo do solo. A agricultura dominante nesta região tem aumentado o uso de fertilizantes minerais, de agrotóxicos e da mecanização, associada à baixa cobertura vegetal e ausência de rotação de culturas. Isso se reflete na redução da produtividade agrícola, provocando a deterioração do ambiente e perda da qualidade do solo.

O estudo dos fatores que contribuem para a deterioração, manutenção e melhoria da qualidade do solo são de extrema importância para o desenvolvimento agrícola, pois somente um solo de boa qualidade pode trazer rendimentos ótimos de forma sustentável. Neste sentido, práticas conservacionistas de manejo do solo têm sido propostas com o objetivo de reduzir as modificações no ambiente, sendo o sistema plantio direto (SPD) aquele com maior destaque como

alternativa de produção sustentável. Este sistema é mais difundido para a produção de grãos, destacando-se as regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil.

Para muitos investigadores, o SPD para as hortaliças, a exemplo a cultura da cebola, ainda têm o SPD pouco pesquisado e avaliado em termos de influências sobre os componentes e processos do solo e a consequente resposta das plantas. Sendo assim, torna-se importante pesquisar os efeitos de sistemas de produção agrícola da cebola que melhoram e mantêm os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, de modo a garantir a produtividade sustentável desta cultura. A produção de cebola em SPD se apresenta como uma boa alternativa conservacionista para a produção desta cultura, podendo colaborar no aumento da produtividade e na conservação dos recursos naturais.

O SPD é caracterizado pela menor mobilização do solo, cobertura permanente do solo e pela rotação de culturas. Este sistema de produção visa melhorar a produtividade das culturas e a conservação dos recursos naturais, pois, pode aumentar a agregação do solo, matéria orgânica do solo e a capacidade de troca catiónica (CTC), reduzir a incidência de plantas espontâneas, melhorar a ciclagem de nutrientes, reduzir a erosão e compactação do solo, aumentar a atividade e diversidade microbiana e tem outros efeitos positivos sobre o solo e o ambiente.

1.1 HIPÓTESES

O presente estudo baseia-se nas seguintes hipóteses:

- Combinações de diferentes espécies vegetais contribuem com a melhoria de aspectos químicos e físicas do solo;

- A manutenção de cobertura vegetal e a adoção de rotação de culturas aumentam a produtividade da cebola.

1.2 OBJETIVO GERAL

- Avaliar os atributos físicos e químicos do solo em um experimento envolvendo rotação de culturas e plantio direto de cebola e sua relação com a produtividade de bulbos.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Buscar o desenvolvimento de tecnologia para o sistema plantio direto de cebola, como forma de manejo conservacionista de solos sensíveis à degradação, em alternativa ao sistema convencional, com melhoria de atributos físicos e químicos do solo;
- Verificar a influência dos diferentes tratamentos na produtividade da cultura da cebola.
- Avaliar os atributos químicos do solo: Al trocável, acidez ativa e potencial, carbono orgânico do solo, carbono particulado e associado a minerais, Ca, Mg e K, P e N e atributos físicos: resistência do solo a penetração, condutividade hidráulica saturada, densidade do solo, microporosidade, macroporosidade e porosidade total, estabilidade de agregados e grau de flocculação das argilas

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 USO DO SOLO NO CULTIVO DA CEBOLA

A cultura da cebola é na atualidade a terceira olerácea em importância econômica para o Brasil, constituindo-se na principal atividade de aproximadamente 60,5 mil famílias, sendo o estado de Santa Catarina o maior produtor nacional desta cultura, neste estado, a produção desta cultura se concentra principalmente na região do Alto Vale do Itajaí, nas microregiões de Ituporanga e Tabuleiro (EPAGRI, 2013).

A produção mundial desta cultura em 2013 foi de aproximadamente 85,79 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2013). Em relação aos sistemas de manejo do solo, em Santa Catarina, tradicionalmente utiliza-se o sistema de preparo convencional (PC) do solo no cultivo da cebola o que causou a degradação física do solo, fazendo com que se buscasse como alternativa de manejo do solo, o sistema de plantio direto (LUCIANO et al., 2010). O emprego de preparo convencional do solo com aração e gradagem causa, após alguns anos, uma série de modificações nas propriedades do solo, em relação ao sistema conservacionista, a comparação das propriedades do solo entre o sistema de plantio direto (PD) e o sistema de preparo convencional (PC) tem sido relatados em vários trabalhos de longa duração (HICKMANN e COSTA, 2012; RHEINHEIMER et al., 1998; SILVEIRA e STONE, 2001). Entretanto os estudos comparando os dois sistemas de manejo do solo, PC e SPD para hortaliças são escassos (COELHO et al., 2013).

Em relação aos atributos físicos do solo, os que têm sido utilizados como indicadores de mudanças na qualidade do solo, são a densidade do solo, compactação do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total,

capacidade de retenção de água e estabilidade de agregados (PEZARICO et al., 2013; RAMOS et al., 2010). A densidade do solo é afetada por cultivos que alteram a estrutura e, por consequência, o arranjo e volume dos poros do solo (KLEIN, 2008). Os sistemas convencionais reduzem os agregados na camada preparada e aceleram a decomposição da MOS, refletindo negativamente na resistência dos agregados (HICKMANN et al, 2012).

Alguns dos atributos químicos do solo que têm sido utilizados como indicadores de mudanças na qualidade do solo são os teores de Ca, Mg, P, N, acidez ativa e potencial (H+Al), Al trocável, carbono orgânico total (COt) e carbono orgânico particulado (COp). A distribuição de nutrientes no perfil do solo, no plantio direto é afetada pela ciclagem feita pelas plantas e influenciada pela ausência do preparo, ocasionando sua concentração na camada superficial, principalmente dos elementos menos móveis. Nessa situação, os teores de matéria orgânica do solo (MOS) podem ser preservados, pois há redução na taxa de decomposição, devido a não fragmentação dos resíduos pelo não revolvimento do solo (CAMPOS et al., 2013). O aumento de C no plantio direto também é devido ao acúmulo dos resíduos vegetais das culturas antecessoras na superfície do solo, causando o contínuo aporte de MOS na camada superficial e melhorias nos seus atributos físicos e químicos (GUARESCHI et al., 2012). O aumento do teor de C na camada superficial associado às raízes das plantas de cobertura e das culturas comerciais após serem manejadas ou colhidas, proporciona a recuperação da agregação com maior volume total de poros no solo (LIMA et al., 2013).

As alterações na química do solo em plantio direto são relacionadas ao acúmulo de MOS, logo deve-se favorecer a utilização de sistemas de rotação de culturas. Outras alterações importantes desses processos no SPD são o aumento da CTC, a diminuição da toxidez de alumínio e a diminuição do potencial do solo em reter fósforo em formas indisponíveis, a

mineralização lenta e gradual dos resíduos orgânicos libera e redistribui formas orgânicas de fósforo, mais móveis no solo e menos susceptíveis às reações de adsorção (ANGHINONI, 2009). Segundo o mesmo autor, os ácidos orgânicos diminuem a sorção de fósforo pela competição pelos sítios de adsorção do solo, aumentando a concentração deste elemento na solução do solo. O cultivo de plantas de cobertura do solo, em sucessão e/ou rotação, pode incrementar os teores de MOS, como também pode ser fonte de nutrientes para as plantas, e agente de formação e estabilização dos macro e microagregados do solo (COSTA JUNIOR et al., 2012).

2.2 SISTEMA PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS

O cultivo da cebola sob sistema de PC caracteriza-se pelo excessivo revolvimento do solo, sendo no plantio realizada aração e posteriormente o destorroamento com enxada rotativa, o que ocasiona a pulverização do solo e, conseqüentemente, sua degradação física, química e biológica (LOSS e t al, 2015). Ainda de acordo com estes autores, a redução dos danos ocasionados pelo mau uso do solo pode ser alcançada utilizando-se o SPD; nesse caso, sendo denominado de SPD de hortaliças (SPDH), onde se tem o preparo do solo restrito à linha de plantio.

De acordo com a Epagri (2013) o SPDH, no caso da cultura da cebola, corresponde àquele em que as mudas são produzidas em canteiros e em seguida, as mudas são transplantadas em sulcos preparados por semeadoras adaptadas para o corte da cobertura morta e do solo. De acordo com a Epagri (2015), o SPDH é um tema gerador que pretende mobilizar, conscientizar, organizar e articular os agricultores familiares e suas organizações com instituições públicas comprometidas com a produção de alimentos limpos de agroquímicos e empenhados na construção da transição para um modelo de

desenvolvimento rural com bases agroecológicas, tendo como principal objetivo a promoção da saúde da planta, alcançada principalmente na:

- Promoção do conforto da planta, a qual é orientada pela minimização dos estresses (nutricionais, temperatura, salinidade, luminosidade,...);
- Nutrição da planta com base nas taxas diárias de absorção, adequando-a às condições ambientais, às reservas nutricionais do solo e aos sinais apresentados pela planta;
- Rotação de culturas e de adubos verdes (cultivados ou espontâneos);
- Adição superior a 10 toneladas de fitomassa seca por hectare por ano nos planos de rotação;
- Diminuição do custo ambiental e da produção, mantendo e mesmo aumentando a produtividade;
- Diminuição até a eliminação de agroquímicos.

Devido às atuais características dos solos da região do Alto Vale do Itajaí, a introdução de sistemas de manejo conservacionistas como o SPDH para o cultivo da cebola é de extrema importância, de modo a reduzir a erosão, melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, podendo aumentar as produtividades sem degradar os recursos naturais e podendo melhorar a qualidade do solo. No SPDH, a cobertura de biomassa vegetal tem vários benefícios, tais como permitir o controle de determinados patógenos do solo, controlar ervas daninhas, reduzir a lixiviação de nutrientes, prevenir a compactação do solo e a erosão do solo (PENTEADO, 2010). Os benefícios da rotação de culturas sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo são vários, dentre eles o aumento da taxa de infiltração de água no solo, controle de pragas, doenças, ervas daninhas, aumento de reciclagem de nutrientes. Por isso a importância do cultivo da cebola em SPD em rotação envolvendo gramíneas que são mais propícias para

a cobertura do solo e leguminosas mais propícias para o fornecimento de N, melhorando as condições para o cultivo desta cultura. A manutenção e/ou adição de MOS, pela rotação de culturas, incluindo o adequado emprego das coberturas vegetais, tende a melhorar o sistema produtivo ao longo dos anos (CALEGARI et al., 2008).

2.2.1 RESPOSTA DA CULTURA DA CEBOLA

A manutenção e preservação de determinadas propriedades físicas do solo são imprescindíveis, especialmente para culturas com sistema radicular sensível e de menor exploração das camadas do solo como a cebola, já que seu sistema radicular tende a explorar os primeiros centímetros do solo, sendo esta camada fundamentalmente importante para o seu desenvolvimento, devendo ser conservada, com condições físico-químicas adequadas. A cebola responde muito bem ao manejo do solo com plantas recicladoras de nutrientes e de cobertura do solo, da mesma forma que à adubação orgânica (EPAGRI, 2013). A inclusão de leguminosas em sistemas de rotação para o cultivo da cebola, por representarem adubação verde, melhoram o solo para o cultivo da cebola, devido à fixação biológica do N. De acordo com a Epagri (2013) no caso da cebola, as espécies usadas para adubação verde devem apresentar grande produção de biomassa, sistema radicular profundo, rápido crescimento inicial, baixa relação C/N, fixação biológica de N, simbiose com micorrizas, uso eficiente de água, não ser hospedeira de pragas ou doenças das plantas cultivadas, facilidade de formação de sementes, sementes abundantes e subprodutos úteis. As espécies vegetais usadas como plantas de cobertura do solo podem ser cultivadas em consórcio ou em rotação com as culturas comerciais, sendo o solo mantido sempre coberto por espécies vegetais de cobertura

do solo ou de adubação verde ou ainda por um consórcio destas duas com a função de produzir biomassa e reciclar nutrientes. Em relação às culturas usadas como adubos verdes e na rotação de culturas no Estado de Santa Catarina, no período de inverno, é recomendado cultivar aveia-preta (*Avena strigosa*), centeio (*Secale cereale*), tremoço-azul (*Lupinus angustifolius*) ou tremoço-branco (*Lupinus albus*), ervilhaca-comum (*Vicia sativa*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), sendo o coquetel de plantas o mais indicado. No período de verão é indicado o cultivo de milho (*Zea mays*), milheto (*Pennisetum americanum*), mucuna-negra (*Strizolobium aterrimum*), crotalária (*Crotalaria juncea*), girassol (*Helianthus annuus*) e papuã (*Brachiaria plantaginea*) sendo o coquetel o mais recomendado (EPAGRI, 2015).

3 CAPÍTULO I-ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM CAMBISSOLO HÚMICO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO DE CEBOLA

3.1 RESUMO

O objetivo foi avaliar os atributos físicos do solo em sistemas de rotação de culturas para cebola em plantio direto. O estudo foi conduzido em um Cambissolo Húmico Distrófico, em Ituporanga, SC. Oito tratamentos envolvendo sistemas de rotação de culturas para cebola foram avaliados: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC (preparo convencional): rotação de coberturas e cebola anual e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm com 5 repetições. As variáveis estudadas foram: estabilidade de agregados do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo, grau de floculação de argila, condutividade hidráulica saturada e resistência à penetração. Para a resistência a penetração, na camada de 0-5 cm o tratamento T1 apresentou maior valor em relação a PC, T3, T5, T6 e T8. Para a densidade do solo na camada de 0-5 cm, T1 apresentou maior valor em relação a T3, T5 e T8, havendo semelhança nas restantes camadas. Os efeitos dos tratamentos sobre a microporosidade e grau de floculação foram semelhantes em todas as camadas. Para a macroporosidade na camada de 0-5 cm, T8 teve o maior valor e foi semelhante a PC e T3, nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, os tratamentos foram semelhantes. Em relação a porosidade total, na camada de 0-5 cm, T8 teve a maior porosidade total,

estando de acordo com o comportamento da resistência a penetração e da macroporosidade. Em relação ao DMG (diâmetro médio geométrico) na camada de 0-5 cm, o PC teve provavelmente devido ao revolvimento do solo e rápida decomposição da MOS, o menor DMG, não tendo diferido somente de T1. O PC apresentou indícios de degradação estrutural na camada superficial do solo, o que pode favorecer a erosão do solo, prejudicando o cultivo da cebola. Entre os sistemas conservacionistas, a sucessão milho-cebola foi o sistema que apresentou piores condições estruturais.

Palavras-Chave: Estrutura do solo. Preparo do solo. *Allium cepa*.

3.2 ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the soil physical attributes 8 years after the implantation (2007 to 2015) of the no-tillage system and crop rotation for onion. The study was conducted in a Humic Dystraphic Cambisol in Ituporanga, SC. Eight treatments involving crop rotations for onion were evaluated, the treatments were: T1: maize-onion (succession), T2: commercial rotation-biennial onion, T3: maize-biennial onion, T4:maize-velvet-onion, T5: soil coverage grass-annual onion, T6: legumes coverage-annual onion, PC (conventional tillage system): coverage crops rotation-annual onion and T8: coverage crops consortium-annual onion. For the soil analysis, samples were collected at the layers of 0-5, 5-10 e 10-20 cm. The studied variables were: stability of soil aggregates (SAA), total porosity (TP), macroporosity, microporosity, soil bulk density (SBD), clays flocculation degree, saturated hydraulic conductivity (SHC) and resistance to soil penetration (RSP). For the RSP at the layer of 0-5 cm, T1 had the maximum value, being superior only to PC, T3, T5, T6 and T8. For the soil bulk density at the layer of 0-5 cm, T1 had the maximum value being superior only to T3, T5 and T8, differences were not found in the 5-10 and 10-20 cm layers. For microporosity and clays flocculation degree the treatments had similar values in all the layers. For the macroporosity at the 0-5 cm layer, T8 had the maximum value, being statistically equal to PC and T3, differences were not found in the 5-10 and 10-20 cm layers. About the total porosity at the 0-5 cm layer, T8 had the maximum value, being statistically equal to PC, T3, T5 and T6, agreeing with the macroporosity. For the stability of soil aggregates at the 0-5 cm layer, PC had the lowest value, being statistically equal to T1. The lowest value of PC may be due to the increase of soil organic matter decomposition rate and soil tillage. The conventional tillage system presented indications

of structural degradation at the soil surface, this condition may favour the occurrence of soil erosion, reducing the yield of onion. Among the no-tillage systems, the succession mayze-onion presented worse structural conditions.

Keywords: Soil structure. Soil tillage. *Allium cepa*.

3.3 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos 40 anos, houve diminuição expressiva do revolvimento do solo em áreas agrícolas devido à adoção do SPD, que ocupa aproximadamente 30 milhões de hectares no Brasil (FEBRAPDP, 2014) e representa 80% da área cultivada com soja, milho e trigo na região Sul do país (COOPLANTIO, 2012). Em avaliações em campo, detecta-se em muitas áreas de plantio direto a presença de uma camada mais densa localizada entre as profundidades de 8 cm e 15 cm, em comparação à camada superficial (0-5 cm), que tem menor densidade e elevada porosidade total (GENRO JUNIOR et al., 2004; SUZUKI et al., 2008; SECCO et al., 2009). Nessas áreas, estudos têm indicado que a presença de camadas compactadas logo abaixo da superfície pode restringir o crescimento radicular das plantas (REICHERT et al., 2007) e até mesmo confinar as raízes em pequeno volume de solo superficial e causar redução do crescimento da parte aérea e do rendimento das culturas (KLEIN et al., 2009).

Diversas pesquisas evidenciaram menores valores de densidade do solo e maiores valores de porosidade total em área nativa, quando comparada a outros sistemas de manejo como o preparo convencional, pastagem e sistema plantio direto (DEMARCHI et al., 2011; GUARESCHI et al., 2012; TORRES et al., 2011). Essas alterações são atribuídas ao maior acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo e de C orgânico nas camadas superficiais e à menor alteração antrópica (TORRES; PEREIRA, 2008).

Em algumas áreas, após três anos de implantação do SPD, tem sido observado o aumento dos valores de densidade do solo e microporosidade, com diminuição dos valores de macroporosidade e porosidade total na camada superficial, quando comparado ao PC; contudo, a densidade do solo tende a diminuir com o aumento do teor de MOS (HERNANI e

SALTON, 2009; LAGO et al., 2012; SILVA e ROSOLEM, 2001; STONE e SILVEIRA, 2001).

O cultivo de plantas de cobertura do solo, em sucessão e/ou rotação, pode incrementar os teores da MOS, como também pode ser fonte de nutrientes para as plantas, e agente de formação e estabilização dos macro e microagregados do solo (COSTA JUNIOR et al., 2012).

Por isso o estudo dos efeitos das plantas de cobertura, rotação de culturas e revolvimento mínimo do solo, sobre os atributos físicos e químicos do solo, são muito importantes, particularmente no caso da cebola.

Este trabalho teve o objetivo de avaliar os atributos físicos do solo em sistemas de rotação de culturas para cebola em plantio direto.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em 2007 no município de Ituporanga, SC. O solo é um Cambissolo Húmico Distrófico, derivado de sedimentos permianos do Grupo Guatá. O clima é do tipo mesotérmico úmido com verões quentes, Cfa, segundo a classificação de Köppen (EMBRAPA, 2004).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, tendo 8 tratamentos, 5 repetições e 40 parcelas, avaliados nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, sendo T1: sucessão milho-cebola; T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, T7: rotação de coberturas-cebola anual em preparo convencional (escarificação e rotativa), T8: consórcio de coberturas-cebola anual (Tabela 1). O preparo convencional foi introduzido em 2011 e os sistemas conservacionistas em 2007. Para escolha das espécies procurou-se usar plantas comerciais frequentemente usadas na região, com boa adaptação, com facilidade de encontrar sementes no mercado, de fácil manejo e com boa produção de matéria seca. A área de implantação do experimento vem sendo cultivada em sistema de produção conservacionista desde 1995, quando foi realizada a última correção do solo e elevou-se o pH para 6,0. Desde então, os cultivos manejados no local de instalação do experimento estão sob plantio direto, sem intervenções de preparo. A dimensão das parcelas foi de 8,7 m² cada e constituídas de sete fileiras com 30 plantas de cebola, o teor de argila do solo é de aproximadamente 30%, a cultivar de cebola usada foi Epagri 352. A adubação realizada na cultura da cebola durante o experimento foi com 120 kg/ha de N 20 dias no plantio, 33 kg/ha aos 40, 65 e 85 dias após o transplante com nitrato de amônio, 80 kg/ha de P₂O₅ no plantio na forma de superfosfato triplo, 90 kg/ha de K₂O, sendo 60 kg/ha no plantio e 30 kg/ha

ao 65 dias após o transplante, 30 kg/ha de S aos 45 dias após o transplante na forma de gesso.

Tabela 1- Tratamentos implantados na rotação de culturas para cultivo de cebola sob manejo conservacionista do solo, de 2007 a 2014, Ituporanga, SC (Continua)

Trat.	2007			2008				
	Inverno		Verão	Inverno		Verão		
T1	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo		Milho	Pousio	Cebola	Milho		
T2	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo		Milho	Aveia+ Nabo+ Centeio	Cebola	Girassol		
T3	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo		Milho	Aveia+ Nabo	Cebola	Milho Safrinha		
T4	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo		Milho	Aveia+ Nabo+ Centeio	Cebola	Mucuna		
T5	Aveia+ Ervilhaca+	Nabo	Cebola	Milheto	Nabo	Cebola	Milheto	
T6	Aveia+ Ervilhaca+	Nabo	Cebola	Feijão Porco	Centeio	Cebola	Mucuna	
T7	Aveia+ Ervilhaca+	Nabo	Cebola	Feijão Porco+	Milheto	Aveia	Cebola	Crotalária Girassol+
T8	Aveia+ Ervilhaca+	Nabo	Cebola	Girassol	Aveia+ Centeio	Cebola	Mucuna+ Milheto	

Fonte: EPAGRI, 2014

Tabela 1- Tratamentos implantados na rotação de culturas para cultivo de cebola sob manejo conservacionista do solo, de 2007 a 2014, Ituporanga, SC (Continua)

Trat.	2009		2010		
	Inverno	Verão	Inverno	Verão	
T1	Pousio				
	Cebola	Milho	Pousio	Cebola	Milho
T2	Aveia+				
	Ervilhaca+		Centeio+		
T3	Nabo	Feijão	Nabo	Cebola	Milho
T4	Ervilhaca	Milho	Centeio	Cebola	Milho
T5	Centeio	Milho	Nabo	Cebola	Mucuna
	Aveia+				
T6	Ervilhaca+				
	Nabo	Milho	Cevada	Cebola	Milheto
T7	Cebola	Mucuna	Centeio	Cebola	Mucuna
T8	Centeio	Milho	Aveia	Cebola	Crotalária
			Centeio+		Milheto+
T9			Aveia+		Mucuna+
	Ervilhaca	Milho	Nabo	Cebola	Girassol

Fonte: EPAGRI, 2014

Tabela 1- Tratamentos implantados na rotação de culturas para cultivo de cebola sob manejo conservacionista do solo, de 2007 a 2014, Ituporanga, SC (Continua)

Trat.	2011			2012		
	Inverno		Verão	Inverno		Verão
T1	Pousio	Cebola	Milho	Pousio	Cebola	Milho
T2	Ervilhaca		Milho	Centeio+ Nabo	Cebola	Milho
T3	Centeio	Cebola	Milho	Aveia	Cebola	Milho
T4	Cebola	Mucuna		Cebola	Mucuna	
T5	Centeio	Cebola	Milheto	Aveia	Cebola	Centeio
T6	Centeio	Cebola	Mucuna	Centeio	Cebola	Centeio
T7	Pousio	Cebola	Milho	Pousio	Cebola	milho
T8	pousio	Cebola	Milheto+ Mucuna+ Girassol	Pousio	Cebola	Milheto+ Mucuna+ Girassol

Fonte: EPAGRI, 2014

Tabela 1- Tratamentos implantados na rotação de culturas para cultivo de cebola sob manejo conservacionista do solo, de 2007 a 2014, Ituporanga, SC (Conclusão)

Trat.	2013	
	Inverno	Verão
T1	Pousio Cebola	Milho
T2	Nabo Centeio	Feijão
T3	Centeio Cebola	Milho
T4	Cebola	Mucuna
T5	Centeio Cebola	Milheto
T6	Centeio Cebola	Mucuna
T7	Pousio Cebola	Milho
T8	Pousio Cebola	Milheto+ Mucuna+ Girassol

Fonte: EPAGRI, 2014

Espécies vegetais: aveia preta (*Avena strigosa*), cebola (*Allium cepa* L.), centeio (*Secale cereale* L.), crotalária (*Crotalaria spectabilis*) ervilhaca peluda (*Vicia villosa*), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), feijão de porco (*Canavalia ensiformis* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.), milho (*Zea mays* L.), milheto (*Pennisetum americanum* L.), mucuna preta (*Stizolobium aterrimum*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.).

Observações:

Os tratamentos de 2011 foram repetidos em 2014, a partir de 2011, T7 passou a ser convencional (escarificação e rotativa).

Figura 1- A (primeira à esquerda)-Vista do experimento- Estação Experimental da EPAGRI em Ituporanga-fase de cultivo da cebola em SPD em rotação de culturas. B- Área experimental em fase de coleta da cebola



A amostragem do solo ocorreu em novembro de 2014, nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm, com coleta de amostras com estrutura alterada em leivas e com estrutura preservada, em anéis volumétricos de 6,0 cm de diâmetro e 5,0 cm de altura. O estado de agregação das amostras de solo foi determinado por meio do peneiramento úmido, pelo método de Kemper e Chepil (1965), em amostras de agregados de 8,0 a 4,76 mm, calculando-se o diâmetro médio geométrico (DMG). Para a determinação da macroporosidade e microporosidade do solo, as amostras nos anéis foram submetidas à saturação em bandeja de água e, posteriormente, à mesa de tensão de areia aos pontos equivalentes a 10 cm e 60 cm, sendo a microporosidade determinada por:

$$\text{Microporosidade (\%)} = [(mS60cm - mSS)/V]$$

Sendo V correspondente ao volume do anel, mS60-massa do solo a 60 cm de sucção e mSS a massa do solo seco em estufa a 105 C.

A macroporosidade foi obtida pela diferença entre a porosidade total (PT) e a microporosidade (EMBRAPA, 2011), e a densidade do solo (Ds) foi obtida dividindo-se a massa de solo

seco pelo volume da amostra. Com base na D_s e na densidade de partículas (D_p), a PT foi determinada pela relação existente entre D_s e a D_p ($PT = 1 - D_s/D_p$), sendo que a D_p foi determinada pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 2011).

Para a determinação da argila total (AT) foi empregado o método da pipeta, utilizando como dispersante químico o NaOH e a argila dispersa em água (AN) foi determinada utilizando como dispersante a água destilada. Foram obtidos os teores de argila dispersa em NaOH e em água, sendo o grau de floculação (GF) da argila determinado por:

$$GF = (AT - AN) * 100/AT.$$

A condutividade hidráulica saturada do solo foi determinada em laboratório, a partir das amostras com estrutura preservada, saturadas com água e submetidas em aparelho de condutividade hidráulica de carga variável, calculada de acordo com a massa de água movimentada no anel volumétrico e altura do intervalo na régua, pelo programa Ksat 2008. A resistência do solo à penetração foi avaliada nos anéis volumétricos, com umidade equilibrada na tensão correspondente a 100 kPa, utilizando-se penetrômetro de bancada Marconi, modelo MA-933, dotado de cone com 4 mm de diâmetro, ângulo de ataque de 45° e velocidade de penetração de 30 mm min⁻¹, o valor de cada amostra correspondeu à média aritmética de 90 leituras determinados em cada anel.

Os resultados obtidos por camada, foram submetidos ao teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett e ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk a 5%. Após a verificação destes pressupostos, foi feita a análise da variância aplicando-se o teste F a 5%. Para a comparação das médias, quando necessário, foi aplicado o teste t de Student a 5%. Foi feita análise de correlação linear de Pearson a 5% entre os atributos físicos e químicos. Todas as análises estatísticas deste estudo

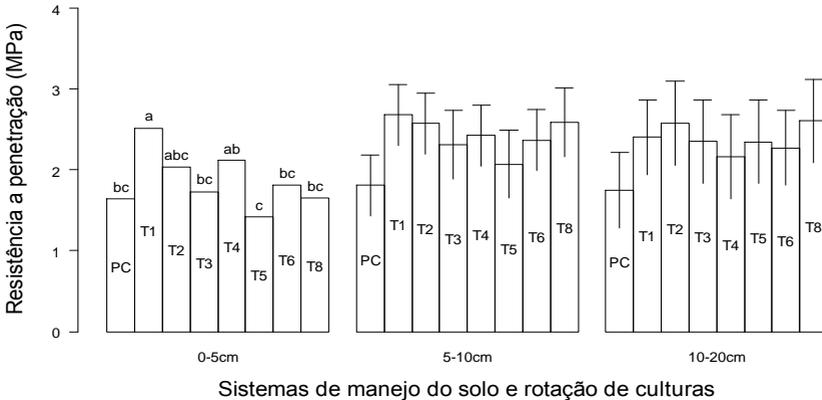
foram feitas no R Core Team (2012) (R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Resistência do solo a penetração

A resistência do solo à penetração (Figura 2) foi semelhante ($P > 5\%$) entre os sistemas de manejo do solo nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, tendo os valores variado de 2,68 a 1,81 MPa e de 2,61 a 1,75 MPa, respectivamente. Na camada de 0-5 cm, o tratamento T1 (sucessão milho-cebola) apresentou maior resistência a penetração em relação a PC, T3, T5, T6 e T8 e o PC somente diferiu de T1. De acordo com Lal (1999), o valor de 2-2,5 MPa de resistência a penetração indica limitação severa ao desenvolvimento radicular, podendo valores acima deste limite prejudicar o desenvolvimento das culturas. Neste estudo, na camada de 0-5 cm, os tratamentos PC, T3, T5, T6 e T8 tiveram valores inferiores a este limite, nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, todos os sistemas conservacionistas ultrapassaram este limite, exceto o PC que não ultrapassou este limite em todas as camadas, provavelmente devido ao intenso revolvimento do solo na superfície do solo, o que tende a diminuir a densidade do solo e aumentar o volume de poros na superfície. A resistência do solo à penetração correlacionou-se de forma positiva com a densidade do solo ($r = 0,64$; $P < 5\%$) e negativa com a porosidade total ($r = -0,48$; $P < 5\%$) e macroporosidade ($r = -0,42$; $P < 5\%$).

Figura 2- Resistência a penetração em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC



Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual, e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. Em cada camada, médias com mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste t de Student a 5%.
 Fonte: produção do próprio autor, 2015.

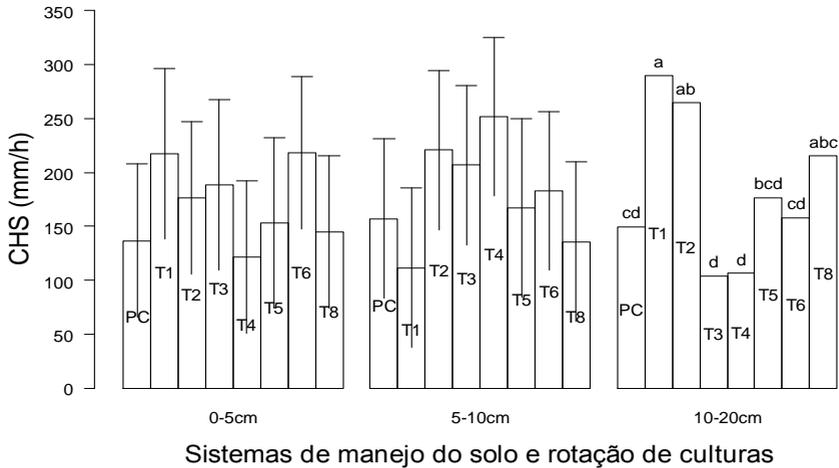
3.5.2 Condutividade hidráulica saturada

A condutividade hidráulica saturada nas camadas de 0-5 e 5-10 cm foi semelhante entre os tratamentos ($P > 5\%$), tendo variado de 219 a 122 mm/h e de 252 a 112 mm/h respectivamente (Figura 3). Na camada de 10-20 cm, o tratamento T1 (sucessão milho-cebola) apresentou a maior condutividade hidráulica, tendo sido superior aos tratamentos PC, T3, T4, T5, T6 e o PC diferiu somente de T1 e T2. Os valores das condutividades hidráulicas saturadas em todas

camadas não indicam limitação para o adequado fluxo de água, pois foram superiores a 20 mm/h, valor que segundo Lal (1999) corresponde ao limite crítico, podendo valores inferiores a 20 mm/h ocasionar dificuldades de deslocamento de água ao longo do perfil do solo. A condutividade hidráulica saturada do solo é dependente do número, continuidade, tamanho dos poros, densidade do solo (KLEIN, 2008). As diferenças observadas entre os tratamentos na camada de 10-20 cm, provavelmente se devem às espécies vegetais utilizadas em cada tratamento, pois, diferentes espécies vegetais fornecem diferentes fitomassas em quantidade e qualidade, também plantas com diferentes sistemas radiculares contribuem de forma diferente na formação dos bioporos e no estímulo à fauna do solo, influenciando os valores desta variável. Três anos após a implantação deste experimento, Camargo (2011) estudou a condutividade hidráulica saturada de oito sistemas conservacionistas e um sistema de preparo convencional (adjacente ao experimento) para a produção de cebola, obteve maior condutividade hidráulica saturada dos sistemas conservacionistas em relação ao preparo convencional na primeira e na terceira camada do solo.

A condutividade hidráulica saturada se correlacionou de forma negativa com o grau de flocculação ($P < 5\%$, $r = -0,22$).

Figura 3- Condutividade hidráulica saturada em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC



Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual, e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. Em cada camada, médias com mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste t de Student a 5%.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

4.5.3 Densidade do solo

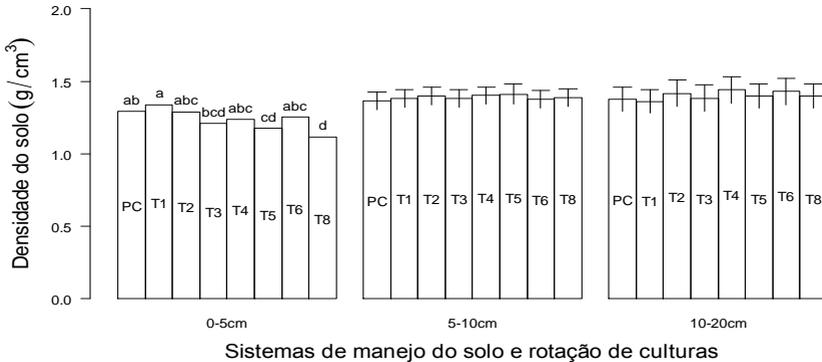
Na densidade do solo (D_s) os tratamentos não diferiram nas camadas de 5-10 e 10-20 cm ($P > 5\%$), tendo os valores variado de 1,41 a 1,3 g/cm^3 e de 1,44 a 1,36 g/cm^3 respectivamente (Figura 4), na camada de 0-5 cm, o tratamento T1 (sucessão milho-cebola) apresentou maior densidade do solo em relação aos tratamentos T3, T5 e T8. Resultados

similares foram obtidos por Hickmann et al. (2012) que conduziram um estudo para avaliar as alterações nos atributos físicos e no teor de carbono orgânico em um Argissolo Vermelho-Amarelo, submetido ao sistema plantio direto (SPD) e ao sistema convencional de preparo com arado de disco (AD), grade pesada (GP) e grade pesada com arado de disco (GP+AD) durante 23 anos. Os autores constataram que na camada de 0-5 cm o PD apresentou densidade do solo semelhante a AD e superior a GP e GP+AD, na camada de 5-10 cm e 10-20 cm os tratamentos foram semelhantes. Segundo os autores além do efeito da compactação pelos implementos agrícolas durante o preparo do solo nos sistemas convencionais, as argilas dispersas pela calagem e o impacto das gotas de chuvas nos solos expostos podem provocar o entupimento de poros, influenciando o aumento da Ds.

Densidades do solo entre 1,3 a 1,4 g/cm³ para esta classe textural do solo são indícios de limitação leve para o crescimento e desenvolvimento radicular, segundo os limites críticos propostos por Lal (1999), os valores das densidades do solo encontradas neste estudo estão dentro deste intervalo, indicando possível indício de compactação do solo o que está de acordo com os valores da resistência a penetração.

A densidade do solo correlacionou-se de forma positiva com a microporosidade ($r=0,2$) e negativa com a porosidade total ($r=-0,77$; $P<5\%$) e macroporosidade ($r=-0,73$; $P<5\%$).

Figura 4- Densidade do solo em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC



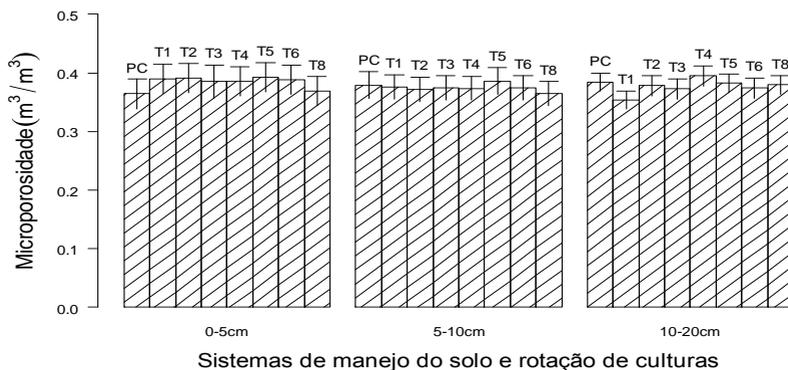
Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola biennial, T3: milho-cebola biennial, T4: milho-mucuna-cebola biennial, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual, e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. Em cada camada, médias com mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste t de Student a 5%.
 Fonte: produção do próprio autor, 2015.

3.5.4 Microporosidade, macroporosidade e porosidade total

Para a microporosidade, não houve diferenças significativas (Figura 5) entre os tratamentos em todas as camadas avaliadas ($P > 5\%$), tendo os valores variado de 0,36 a 0,39 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, 0,36 a 0,38 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e de 0,35 a 0,39 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ para as camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente. A pequena variação observada na microporosidade, em relação à variação observada na macroporosidade (Figura 6), entre os tratamentos, possivelmente indica que esta variável pode ser menos dependente do manejo,

fato também constatado por Hickmann et al. (2012) em um Argissolo Vermelho-Amarelo e por Bertol et al. (2001) em um Cambissolo Húmico.

Figura 5- Microporosidade em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC



Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bial, T3: milho-cebola bial, T4: milho-mucuna-cebola bial, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual, e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. Em cada camada, médias com mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste t de Student a 5%.

Em cada camada, médias com barras de intervalos de confiança a 95% não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste F a 5%.

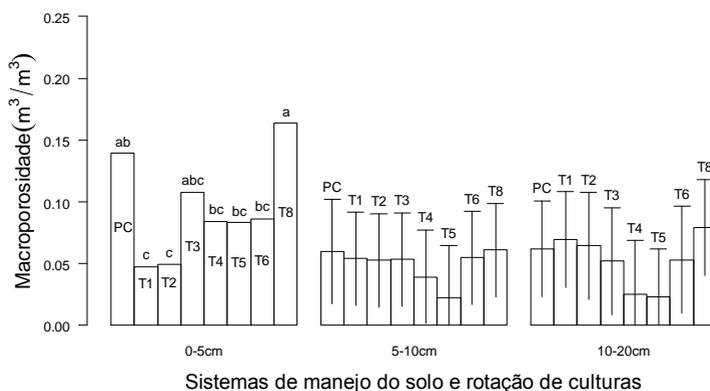
Fonte: produção do próprio autor, 2015.

A microporosidade se correlacionou de forma negativa com a macroporosidade ($r=-0,59$; $P<5\%$) e porosidade total ($r=-0,18$; $P<5\%$). Para a macroporosidade (Figura 6) na camada de 0-5 cm, o tratamento T8 apresentou maior macroporosidade, não tendo diferido de T3 e PC, o PC somente superou T1 e T2. Nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, a macroporosidade foi semelhante entre os tratamentos ($P>5\%$) tendo os valores

variado de 0,02 a 0,06 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e de 0,02 a 0,08 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, respetivamente. Este comportamento da macroporosidade está de acordo com o comportamento da densidade do solo.

O valor de 0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ de macroporosidade é considerado limite mínimo para permitir trocas líquidas e gasosas necessárias ao desenvolvimento adequado do sistema radicular da maioria das culturas (TAYLOR; ASHCROFT, 1972), contudo, este valor não pode ser generalizado para todas culturas e situações. Na camada de 0-5 cm, somente os tratamentos T8, T3 e PC ultrapassaram este valor, nas restantes camadas os valores da macroporosidade estiveram abaixo deste limite, indicando prováveis problemas de compactação do solo nestas duas últimas camadas, o que está de acordo com os valores da resistência a penetração. A possível ocorrência de compactação do solo também pode ser observada por meio das relações entre a macroporosidade e a porosidade total (Figura 8), cujos valores, em todos os tratamentos e profundidades, foram inferiores a 0,33, valor citado por Taylor e Aschcroft (1972) como o mínimo ideal, valores abaixo deste limite podem significar limitação ao desenvolvimento radicular, pela reduzida taxa de difusão de gases no solo e pela dificuldade de drenagem do excesso de água das chuvas. A macroporosidade se correlacionou de forma positiva com a porosidade total ($r=0,9$; $P<5\%$).

Figura 6- Macroporosidade em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC



Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual, e T8: consórcio de coberturas-cebola anual.

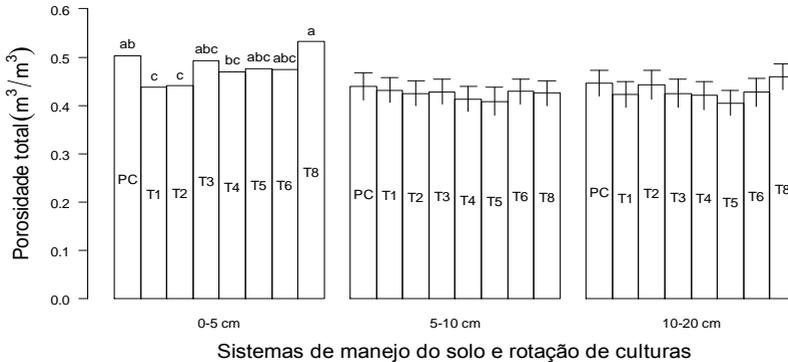
Em cada camada, médias com mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste t de Student a 5%.

Em cada camada, médias com barras de intervalos de confiança a 95% não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste F a 5%.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Em relação a porosidade total (Figura 7), na camada de 0-5 cm, o tratamento T8 apresentou a maior porosidade total, não diferindo de PC, T3, T5 e T6. Nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, houve semelhanças entre os tratamentos ($P > 5\%$), tendo os valores variado de 0,40 a 0,43 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e de 0,40 a 0,45 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ respectivamente. Estes valores estão de acordo com o comportamento da densidade do solo e da macroporosidades.

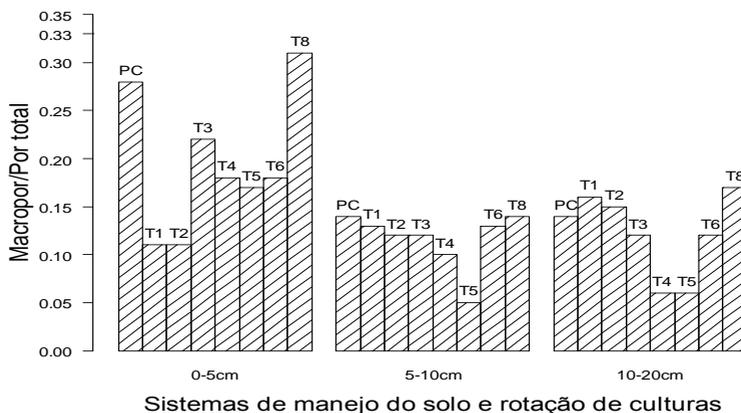
Figura 7- Porosidade total em um Cambissolo Húmico Ditrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC



Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual, e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. Em cada camada, médias com mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste t de Student a 5%. Em cada camada, médias com barras de intervalos de confiança a 95% não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste F a 5%.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Figura 8- Relação macroporosidade/Porosidade total em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC



Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual, e T8: consórcio de coberturas-cebola anual.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

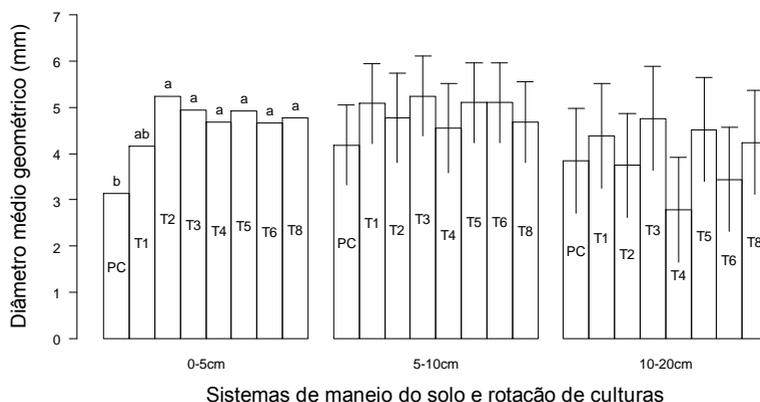
3.5.5 Estabilidade de agregados

Para o diâmetro médio geométrico (DMG), os tratamentos apresentaram semelhanças ($P > 5\%$) nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, tendo os valores variado de 4,24 mm a 5,24 mm e de 2,78 mm a 4,76 mm respectivamente. Na camada de 0-5 cm, os tratamentos T2, T3, T4, T5, T6 e T8 apresentaram maior DMG em relação ao PC, T1 foi semelhante a PC. Na camada de 0-5 cm, o baixo DMG do PC em relação aos outros sistemas conservacionistas, se deve ao rompimento dos agregados devido às operações de preparo do solo, aceleração

da taxa de decomposição da MOS devido à destruição dos seus mecanimos de proteção física. Nesta camada, a semelhança entre o PC e T1 se deve ao fato de T1 ser composto por uma sucessão de milho-cebola e não usar plantas de cobertura, tendo-se menores aportes de biomassa no solo e menor exploração do solo via diferentes sistemas radiculares, o que pode refletir em menores quantidades de MOS quando comparado com os demais tratamentos, no T1, principalmente no inverno, com o pousio, o solo fica mais exposto às gotas de chuva, e com isso, os agregados podem ser rompidos mais facilmente frente às condições ambientais (COMIN et al., 2015).

Estes resultados são semelhantes ao estudo de Comin et al. (2014) neste mesmo experimento, que avaliaram o diâmetro médio ponderado (DMP) de sete sistemas conservacionistas e um sistema de preparo convencional (PC) para a produção de cebola e encontraram na camada de 5-10 cm menores valores de DMP nos tratamentos T6 (cultivo de leguminosas de cobertura-cebola anual) e PC (rotação de plantas de coberturas e cebola anual), com menores valores de DMP no PC em comparação aos demais tratamentos. Segundo estes autores, o menor valor de DMP observado no PC é decorrente da substituição do cultivo mínimo (2007 a 2010) pelo PC a partir de 2011, ocasionando a ruptura dos agregados de maior tamanho em agregados menores e ocasionando o aumento da atividade microbiana e maior taxa de decomposição da matéria orgânica. Na avaliação feita por Carmargo (2011), 3 anos após a implantação deste experimento, os DMP dos sistemas conservacionistas foram superiores ao PC em todas as camadas. A autora atribuiu este resultado ao acúmulo de resíduos vegetais que permanecem por maior tempo no solo manejado no sistema plantio direto.

Figura 9- Diâmetro médio geométrico em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC



Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual, e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. Em cada camada, médias com mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste t de Student a 5%. Em cada camada, médias com barras de intervalos de confiança a 95% não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste F a 5%.

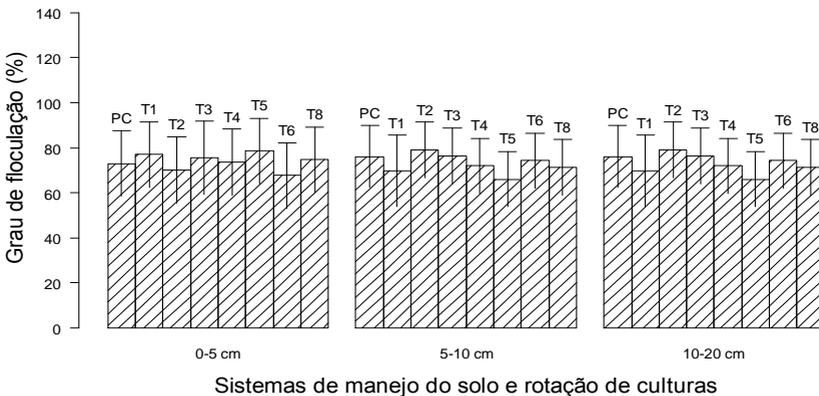
Fonte: produção do próprio autor, 2015.

3.5.6 Grau de floculação

Para o grau de floculação, não houve diferenças significativas entre os tratamentos nas três camadas avaliadas ($P > 5\%$), os valores variaram de 67,64% a 78,54%, 65,99% a 79,02% e de 65,99% a 79,02% (Figuras 10) para as camadas de 0-5, 5-10 e 10-20, respectivamente. Neste mesmo experimento, Camargo (2011) também não obteve diferenças significativas nos graus de floculação entre os tratamentos avaliados,

contudo, a floculação dos sistemas conservacionistas foi superior à da mata nativa em todas as camadas avaliadas. De acordo com Ferreira (2010), considerando que a dispersão representa hidratação da argila e ainda que tanto a água quanto a argila possuem cargas elétricas localizadas é razoável admitir que quanto mais ativa for a fração argila, maior será a adsorção de água e conseqüentemente maior a quantidade de argila dispersa em água. A dispersão das argilas pode ser relacionada com a estabilidade dos agregados na água, assim como pode ser influenciada pelo tipo e quantidade de cátions trocáveis, quantidade de agentes complexantes, minerais silicatados, óxidos de Fe e Al, da força iônica e do pH (ALLEONI et al., 2009).

Figura 10- Graus de floculação das argilas em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC



Fonte: produção do próprio autor, 2015.

3.6 CONCLUSÕES

Em relação aos agregados do solo, na camada de 0-5 cm, o PC teve o menor diâmetro médio geométrico não tendo diferido somente de T1, indicando possível início de degradação estrutural, propiciada por este tipo de manejo do solo. O baixo valor de T1 nesta variável pode ser justificada pelo fato de T1 ser um tratamento baseado em sucessão milho-cebola deixando o solo descoberto e com menor aporte de fitomassa via sistema radicular e pela parte aérea.

No tratamento T1, a ausência de plantas de cobertura, acarretou em maior resistência a penetração e maior densidade do solo na camada de 0-5 cm, em comparação aos tratamentos T3, T5 e T8. O consórcio de plantas de coberturas em T8, acarretou em maior macroporosidade e porosidade total, em relação a T1.

As correlações verificadas entre a resistência a penetração, densidade do solo, macroporosidade e porosidade total ilustram a importância da rotação de culturas, revolvimento mínimo do solo e da cobertura vegetal para uma boa estrutura do solo.

4 CAPÍTULO II – ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM CAMBISSOLO HÚMICO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO DE CEBOLA

4.1 RESUMO

O objetivo foi avaliar os atributos químicos do solo e a produtividade da cebola em plantio direto, após 8 anos (2007 a 2015) em sistema de manejo conservacionista do solo e rotação de culturas. O estudo foi conduzido em um Cambissolo Húmico Distrófico, em Ituporanga, SC. Oito tratamentos envolvendo sistemas de rotação de culturas para cebola foram avaliados, os tratamentos foram: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC (preparo convencional): rotação de coberturas e cebola anual e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. O solo foi analisado nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm com 5 repetições e 40 parcelas. Para o Al trocável na camada de 0-5 cm, T4, T6 e T8 superaram o PC. Os tratamentos foram semelhantes em todas camadas para o carbono orgânico total (COt), carbono orgânico associado aos minerais (COam), Ca, Mg e K. Para P na camada de 0-5 cm, T8 superou PC, T2 e T3 e para o N na camada de 10-20 cm, T5 teve o maior valor tendo superado somente T1, T2, T3. O sistema plantio direto quando associado a rotação de culturas pode contribuir para a manutenção dos teores de matéria orgânica do solo na camada superficial e redução de perda de nutrientes por lixiviação e erosão. O tratamento T6: leguminosas de cobertura-cebola anual apresentou o maior rendimento da cebola e o preparo convencional o menor. As práticas de cobertura permanente do solo e de rotação de

culturas da cebola com leguminosas e gramíneas beneficiam a cultura da cebola, provavelmente devido ao maior aporte de resíduos vegetais na superfície do solo, contribuindo para uma melhor ciclagem de nutrientes como o P e N.

Palavras-chave: Rotação de culturas. *Allium cepa*. Nutrientes. Matéria orgânica particulada.

4.2 ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the soil chemical attributes and onion yield in no-tillage system, 8 years (2007 to 2015) after the implantation of the no-tillage systems and crops rotations. The variables evaluated were: total organic carbon (TOC), particulate organic carbon (POC), carbon associated to minerals (CAM), total nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), magnesium (Mg), calcium (Ca), aluminium (Al), pH-H₂O, pH-CaCl₂, potential acidity (H+Al). This study was conducted in a Humic Dystrophic Cambisol in Ituporanga, SC. Eight treatments involving crop rotations for the onion were evaluated, the treatments were: T1: maize-onion (succession), T2: commercial rotation-biennial onion, T3: maize-biennial onion, T4:maize-velvet-onion, T5: soil coverage grass-annual onion, T6: legumes coverage-annual onion, PC (conventional tillage system): coverage crops rotation-annual onion and T8: coverage crops consortium-annual onion. For the soil analysis, samples were collected at the layers of 0-5, 5-10 e 10-20 cm with 8 replications and 40 plots. For Al concentrations, in the layer of 0-5 cm, T4, T6 and T8 had higher values than PC. For TOC, CAM, Ca, Mg and K in all the layers the treatments had no differences. For P in the layer of 0-5 cm, T8 had higher value than PC, T2 and T3 and for N at the layer of 10-20 cm, T5 had the highest value being superior only to T1, T2 and T3. The no-tillage system when associated to crops rotations may contribute for the maintenance of soil organic matter concentrations and reduce nutrients loss by lixiviation and erosion. The treatment T6 presented the highest yield of onion and PC the lowest. The practices of soil permanent coverage and crops rotations

with legumes and grass benefit the production of onion, probably due to the increase of crops residues in the soil surface, contributing for a better nutrients cycling such as N and P.

Keywords: Crops rotation. *Allium cepa*. Nutrients. Particulate organic carbon.

4.3 INTRODUÇÃO

O sistema plantio direto possibilita uma série de benefícios, como o aumento da atividade biológica do solo, redução da erosão e maior ciclagem de nutrientes (ARANDA et al. 2011). Neste sistema, é fundamental a formação de uma cobertura vegetal na superfície do solo, antes da implantação da cultura principal (NASCENTE; CRUSCIOL 2012). Como os resíduos produzidos por culturas comerciais, geralmente, são insuficientes para uma adequada cobertura do solo, faz-se necessário introduzir plantas capazes de produzir grande quantidade de massa, no outono/inverno, de modo que o solo permaneça coberto o maior tempo possível, para a implantação da próxima cultura de verão (NASCENTE et al., 2013; PACHECO et al., 2011).

A MOS desempenha um papel importante para a qualidade do solo, sendo considerada a principal indicadora da qualidade do solo, servindo de base para sustentabilidade agrícola (LAL, 2004). A utilização de práticas sustentáveis como o sistema de integração lavoura pecuária, plantio direto, a utilização de plantas de cobertura e pousio, sistemas agroflorestais, a longo prazo, pode aumentar e/ou manter a quantidade e a qualidade da MOS, tendo como consequência a melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (LAL, 2004). Um dos principais indicadores das alterações no solo, provocadas pelos diferentes sistemas de manejo é o teor de C orgânico total do solo (COT).

O fracionamento granulométrico da MOS e a identificação dos seus compartimentos pode auxiliar na avaliação das modificações decorrentes do uso devido à maior sensibilidade dessas frações frente ao manejo (BAYER et al., 2004; CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992). As diferentes frações de carbono orgânico do solo apresentam características químicas, físicas e morfológicas distintas, e a distribuição

destas pode indicar a qualidade da MOS (CANELLAS et al., 2003).

Alguns autores têm demonstrado que o COP (C orgânico particulado) é muito sensível às mudanças promovidas pelos sistemas de manejo na dinâmica do C do solo (CARMO et al., 2012; GUARESCHI et al., 2013; LOSS et al., 2010). Em Santa Catarina tradicionalmente utiliza-se o sistema de preparo convencional (PC) do solo no cultivo da cebola, fato este que culminou com a degradação física dos solos, fazendo com que se buscasse como alternativa de manejo do solo, o sistema de plantio direto (LUCIANO et al., 2010). A MOS afeta a disponibilidade de nutrientes, a CTC do solo, a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, a agregação, a infiltração, a retenção de água, a aeração e a atividade e biomassa microbiana do solo (PEREIRA et al., 2013).

A utilização de sistemas de manejo que promovam diferentes aportes de biomassa vegetal pode ser identificada por meio do COP (carbono orgânico particulado), sendo possível esta ser utilizada como ferramenta para avaliar a qualidade do solo, principalmente em um curto período de tempo (ROSSI et al., 2012).

O cultivo de plantas de cobertura do solo, em sucessão e/ou rotação, pode incrementar os teores de matéria orgânica no solo (MOS), como também pode ser fonte de nutrientes para as plantas, e agente de formação e estabilização dos macro e microagregados do solo (COSTA JUNIOR et al., 2012). Por isso o estudo dos efeitos das plantas de cobertura, rotação de culturas e revolvimento mínimo do solo, sobre os atributos físicos e químicos do solo, são muito importantes, particularmente no caso da cebola.

Este trabalho teve o objetivo de avaliar os atributos químicos do solo em sistemas de rotação de culturas para cebola em plantio direto.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em 2007 no município de Ituporanga, SC, na Estação Experimental da EPAGRI, o solo é um Cambissolo Húmico Distrófico, derivado de sedimentos permianos do Grupo Guatá. O clima é do tipo mesotérmico úmido com verões quentes, Cfa, segundo a classificação de Köppen (EMBRAPA, 2004). O delineamento experimental usado foi o de blocos ao acaso com cinco repetições e 40 parcelas, tendo oito tratamentos, avaliados nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, num solo com aproximadamente 30% de argila, cada tratamento correspondeu a um sistema de cultivo para cultura da cebola, baseados em diferentes coberturas do solo utilizadas para produção de palha no sistema plantio direto, onde T1: sucessão milho-cebola; T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, T7: rotação de coberturas-cebola anual em preparo convencional (escarificação e rotativa), T8: consórcio de coberturas-cebola anual (Tabela 1). O preparo convencional foi implantado em 2011 e os sistemas conservacionistas em 2007. Para escolha das espécies procurou-se usar plantas comerciais frequentemente usadas na região, com boa adaptação, com facilidade de encontrar sementes no mercado, de fácil manejo e com boa produção de matéria seca. A área de implantação do experimento vem sendo cultivada em sistema de produção conservacionista desde 1995, quando foi realizada a última correção do solo e elevou-se o pH para 6,0. Desde então, os cultivos manejados no local de instalação do experimento estão sob plantio direto, sem intervenções de preparo. A dimensão das parcelas foi de 8,7 m² cada e constituídas de sete fileiras com 30 plantas de cebola. Para este estudo, as espécies vegetais envolvidas no experimento foram: cebola (*Allium cepa* L.)

cultivar Epagri 352, centeio (*Secale cereale* L.), ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth.), girassol (*Helianthus annuus* L.), milho (*Zea mays* L.), milheto (*Pennisetum americanum* L.) e mucuna preta (*Stizolobium aterrimum* Piper e Tracy). A adubação realizada na cultura da cebola durante o experimento foi com 120 kg/ha de N 20 dias no plantio, 33 kg/ha aos 40, 65 e 85 dias após o transplante com nitrato de amônio, 80 kg/ha de P_2O_5 no plantio na forma de super fosfato triplo, 90 kg/ha de K_2O , sendo 60 kg/ha no plantio e 30 kg/ha ao 65 dias após o transplante, 30 kg/ha de S aos 45 dias após o transplante na forma de gesso.

As amostras de solo foram coletadas em novembro de 2014, sendo efetuadas 10 sub-amostras por parcela para compor uma amostra composta. Partindo-se de amostras deformadas secas e peneiradas, na fração terra fina seca ao ar foram determinados pH- H_2O , pH- $CaCl_2$, acidez potencial (H + Al). O pH do solo foi determinado nas relações 1:2.5 para pH- H_2O e pH- H_2O - $CaCl_2$ com solução de $CaCl_2$ $0,01 \text{ mol L}^{-1}$. A acidez potencial composta por H+Al foi extraída com solução de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em pH 7 e quantificada por titulometria de neutralização NaOH (EMBRAPA, 2011). Foi realizado o fracionamento granulométrico da MOS (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992), obtendo-se o carbono orgânico particulado (COp) e o carbono orgânico associado aos minerais (COam). Para isso, foi utilizado 20 g de solo e 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}), os quais foram agitados durante 15 horas em agitador horizontal. A seguir, a suspensão foi passada por peneira de 53 μm . O material retido na peneira (COp) foi seco em estufa a 50°C , quantificado em relação a sua massa, moído em gral de porcelana e analisado em relação ao teor de C por combustão seca por um analisador Multi C/N 2100S (Analytikjena, Alemanha). O COam foi obtido a partir da diferença entre o COt e o COp. O nitrogênio total foi extraído com digestão e destilação da amostra e determinado por titulação com solução

de HCl 0,01 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 2011). P e K foram extraídos com solução ácida de Mehlich-1, sendo o K determinado por fotometria de chama e o P por colorimetria. O Ca e Mg foram extraídos com solução KCl 1 mol L⁻¹, e determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O Al trocável foi extraído com solução KCl 1mol L⁻¹ e determinado por titulometria de neutralização (TEDESCO et al., 1995).

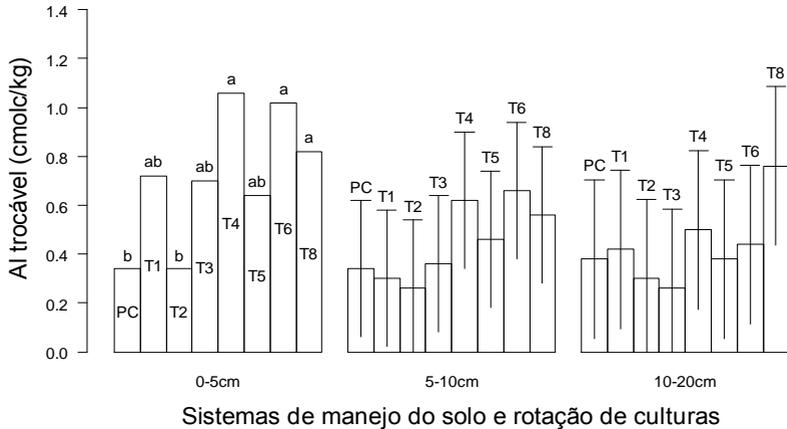
Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett e ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk a 5%. Após a verificação destes pressupostos, foi feita a análise da variância pelo teste F a 5%, para a comparação das médias quando necessário, foi aplicado o teste t de Student a 5%. Nos casos nos quais as variâncias dos tratamentos não foram homogêneas, foi usado o teste não paramétrico de Friedman a 5%. Todas as análises estatísticas deste estudo foram feitas no R Core Team (2012) (R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Al trocável, acidez ativa e potencial

Em relação ao Al trocável, na camada de 0-5 cm, (Figura 12) T4, T6 e T8 apresentaram maiores teores em relação ao PC e T2. Nas camadas de 5-10 e 10-20 cm não houve diferenças entre os tratamentos, tendo os valores variado de 0,26 a 0,66 cmolc/kg e de 0,26 a 0,76 cmolc/kg respectivamente. As diferenças nos teores de Al trocável encontradas na camada de 0-5 cm, provavelmente se devem à diferentes quantidades e qualidades de matéria orgânica fornecidas por cada tratamento. No SPD, a quantidade de Al complexado (Al-MO) torna-se de acentuada importância, como constatado por Cambri (2004) para amostras de solos cultivados sob SPD de diferentes localidades brasileiras, em que o Al-MOS predominou sobre a forma trocável (Al^{+3}). Os efeitos negativos da acidez do solo assim como da toxidez do Al sobre os cultivos agrícolas não têm sido observados em muitos solos cultivados sob SPD, e a ausência de resposta das culturas à calagem, nesse caso, tem sido a mesma (ALLEONI et al., 2003, 2005; CAIRES et al., 1998, 1999, 2005, 2006). A constante adição de resíduos vegetais à superfície do solo no SPD favorece a diminuição da toxidez por Al, devido à atuação dos processos químicos de complexação de ligantes orgânicos e de hidrólise, em função do aumento do pH do solo (ALLEONI et al., 2010; NOLLA et al., 2007), pois a biodisponibilidade e o potencial tóxico dos elementos no ambiente dependem de sua especiação na solução do solo (CANCÈS et al., 2003). Neste mesmo experimento, valores similares de Al trocável também foram obtidos por Camargo (2011) em todas camadas.

Figura 11- Al trocável em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC



Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual, e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. Em cada camada, médias com mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste t de Student a 5%.

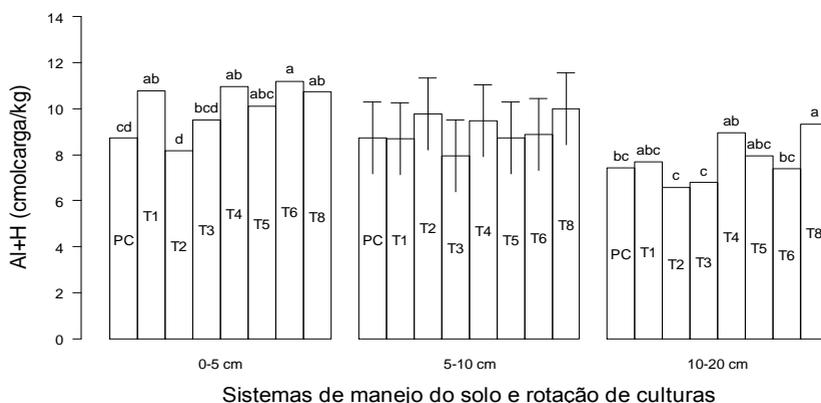
Em cada camada, médias com barras de intervalos de confiança a 95% não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste F a 5%.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Em relação a acidez potencial, na camada de 5-10 cm, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas entre si, (Figura 13) tendo os valores variado de 7,96 a 9,98 cmolc/kg. Na camada de 0-5 cm, o tratamento T6 apresentou maior valor em relação a T3, T2 e PC e na camada de 10-20 cm, o tratamento T8 apresentou maior valor em relação a T6, T2, T3 e PC. As diferenças verificadas nos teores de H+Al nas camadas de 0-5 e 10-20 cm, provavelmente se devem aos

efeitos de matéria orgânica em quantidade e qualidade de cada tratamento, já que a MOS contribuiu para aumentar as fontes de acidez potencial do solo e redução do pH. A acidez potencial se correlacionou de forma positiva com o carbono orgânico total ($r=0,44$; $P<5\%$).

Figura 12- Acidez potencial em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC



Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual, e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. Em cada camada, médias com mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste t de Student a 5%. Em cada camada, médias com barras de intervalos de confiança a 95% não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste F a 5%.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Para o pH-H₂O, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas entre si nas camadas de 0-5 e 10-20 cm ($P > 5\%$), tendo os valores variado de 4,8 a 4,6 e de 4,9 a 5,4 respectivamente. Na camada de 5-10 cm, o tratamento T1 apresentou pH-H₂O superior aos tratamentos T4, T5, T6 e T8. Em geral, os valores de pH-H₂O encontrados são baixos (CQFS-RS/SC, 2004). A elevada acidez da camada superficial observada na presente análise tem sido atribuída à acidificação causada pela decomposição de material orgânico deixado na superfície do solo no SPD, com provável liberação de ácidos orgânicos (BAYER, 1992) e também ao efeito acidificante decorrente da utilização contínua de adubos nitrogenados solúveis de fontes amoniacais (CIOTTA et al., 2002). Vale lembrar que o solo deste experimento foi adubado com nitrato de amônio e que este solo foi calcareado há 20 anos, o que pode estar também contribuindo para o baixo pH-H₂O observado na camada superficial.

Tabela 2- pH-H₂O e pH-CaCl₂ em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC

Trat.	Camada 0-5 cm		Camada 5-10 cm		Camada 10-20 cm	
	pH- H ₂ O ^{NS}	pH- CaCl ₂ ^{**}	pH- H ₂ O [*]	pH- CaCl ₂ ^{**}	pH- H ₂ O ^{NS}	pH- CaCl ₂ ^{NS}
T1	4,84	4,12 b	5,28 a	4,28 ab	5,44	4,04
T2	4,84	4,50 a	5,06 ab	4,40 ab	5,26	4,40
T3	4,84	4,08 b	5,08 ab	4,62 a	5,20	4,50
T4	4,66	4,38 ab	4,82 bc	4,54 ab	4,86	4,44
T5	4,72	4,34 ab	4,84 bc	3,74 b	5,14	4,60
T6	4,60	4,14 b	4,78 c	4,48 ab	5,12	4,44
PC	4,80	4,22 ab	5,16 a	4,18 ab	5,14	4,28
T8	4,58	4,32 b	4,72 c	4,40 ab	5,16	4,38

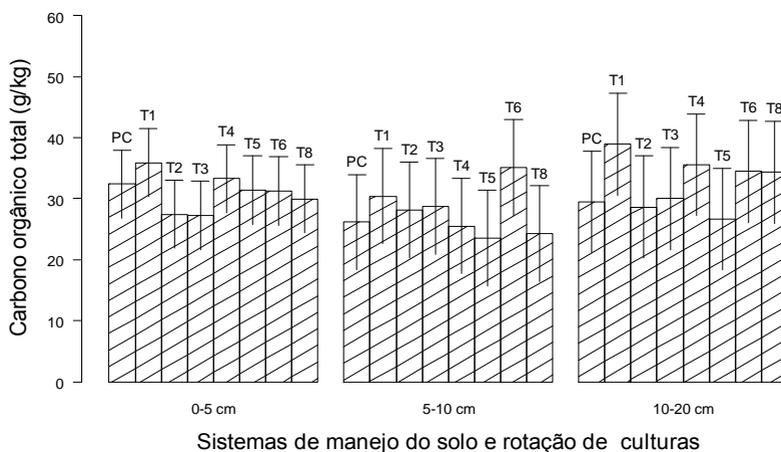
Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual, e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. Na coluna, médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si NS- Sem diferenças significativas a 5%, pelo teste de Fisher * Teste t de Student a 5%. ** Teste de Friedman a 5%.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

4.5.2 Carbono orgânico total, carbono particulado e associado aos minerais

Os teores de carbono orgânico total (COt) foram semelhantes (Figura 14) em todas as camadas avaliadas. Nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm os teores de COt variaram de 27,9 a 35,9 g/kg, de 23,5 a 35,1 g/kg e de 26.64 a 38.9 g/kg, respetivamente. Neste mesmo experimento, Camargo (2011) obteve teores de C similares na primeira e segunda camada e teores de C da mata nativa superiores aos oito sistemas conservacionistas em todas as camadas, estes resultados demonstram a lenta acumulação da MOS em SPD, fato relatado por Bayer e Mielniczuk (1999). O aumento dos teores de MOS em áreas de SPD, em comparação a outros sistemas de manejo, pode estar relacionado principalmente ao seu tempo de instalação, pois o acúmulo de carbono neste sistema ocorre muito lentamente, levando de 10 a 15 anos para se tornar expressivo (CARVALHO et al., 2010). Aumentos de teores de COt em SPD ao longo do tempo foram encontrados por Siqueira Neto et al. (2010) e Guareschi et al. (2013), estes fatos podem explicar a igualdade dos teores de COt entre o PC implantado em 2011 e os sistemas conservacionistas implantados em 2007, os efeitos dos sistemas de manejo sobre a MOS podem ocorrer lentamente e precisariam de mais tempo para se tornarem evidentes.

Figura 13- Carbono orgânico total em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC



T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual, e T8: consórcio de coberturas-cebola anual.

Em cada camada, médias com mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste t de Student a 5%.

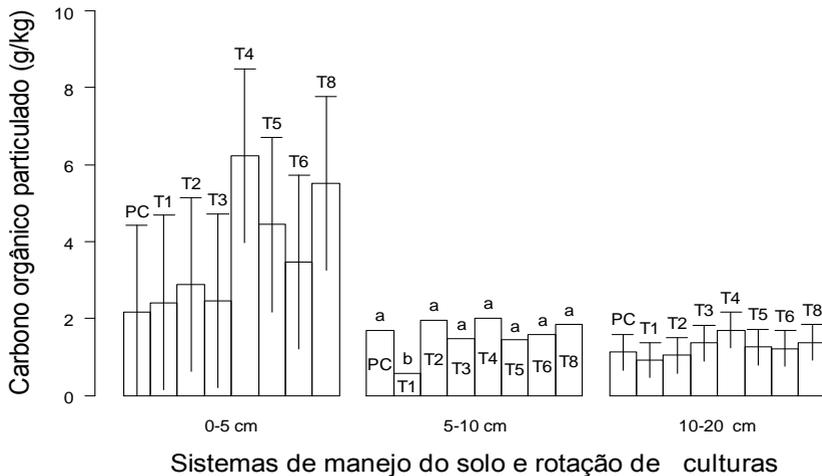
Em cada camada, médias com barras de intervalos de confiança a 95% não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste F a 5%.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Em relação ao carbono orgânico particulado (COP), os teores reduziram ao longo do perfil, somente houve diferenças significativas na camada de 5-10 cm (Figura 15), onde o tratamento T1 apresentou menor teor de COP em relação a todos os outros. Nas camadas de 0-5 e 10-20 cm, os valores variaram de 2,1 a 6,2 g/kg e de 0,9 a 1,7 g/kg, respectivamente. Os maiores valores de COP observados na camada de 0-5 cm em relação às outras camadas se devem à maior influência dos

resíduos vegetais deixados na superfície pelas diferentes espécies vegetais que compõem cada sistema de rotação. As diferenças no COP observadas na camada de 5-10 cm, provavelmente estão relacionadas com as diferentes espécies vegetais que constituem cada sistema de rotação, pois além da matéria orgânica da parte aérea das plantas, a rizodeposição também contribui para a formação do COP (PUGET; DRINKWATER, 2001), o que pode explicar os menores teores de COP do T1 (sucessão milho-cebola), pois neste tratamento, a entrada de resíduos orgânico no solo é baixa, via folhas senescentes e rizodeposição.

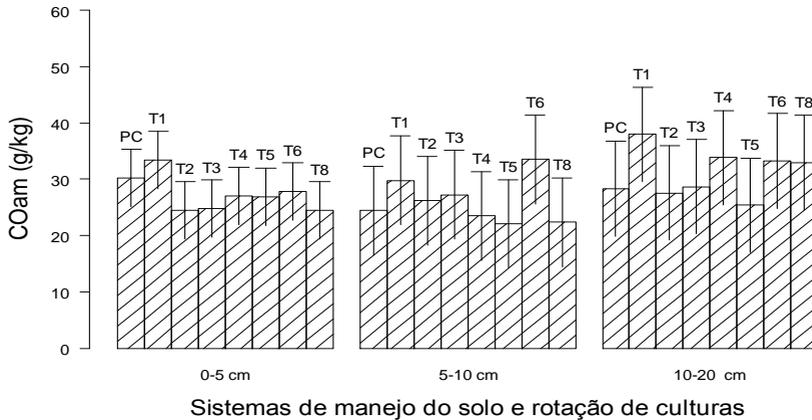
Figura 14- Carbono orgânico particulado em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC



Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Em relação ao carbono associado aos minerais (CO_{am}), os tratamentos foram semelhantes nas três camadas avaliadas (P>5%) (Figura 16). Os valores variaram de 24,4 a 33,4 g/kg, 22,1 a 35,5 g/kg e de 25.38 a 37.98 g/kg, para as camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente. As ausências de diferenças significativas desta fração da matéria orgânica em todas as camadas, talvez se deva à pouca alteração que esta fração sofre entre sistemas de manejo, conforme destacado por Bayer et al. (2004), segundo o mesmo autor, esta fração apresenta pouca sensibilidade ao manejo em curtos períodos pela sua ciclagem mais lenta, interação com a fração mineral do solo e formação de compostos organominerais, num processo de estabilização química (CHRISTENSEN, 1996) e recalcitrância bioquímica (BAYER, 1996). Estudos realizados por Blanco-Canqui et al. (2010) em 33 anos de experimento revelaram baixos efeitos nos valores de matéria orgânica do solo nesta fração do solo.

Figura 15- Carbono orgânico associado a minerais em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC



Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual, e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. Em cada camada, médias com mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste t de Student a 5%.

Em cada camada, médias com barras de intervalos de confiança a 95% não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste F a 5%.

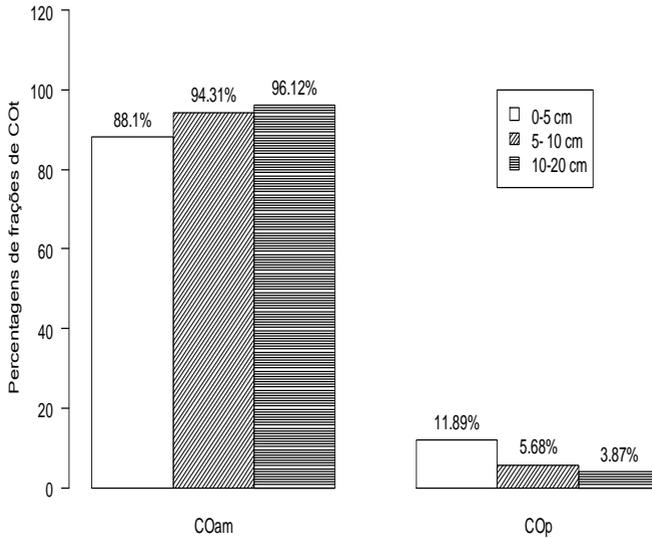
Fonte: produção do próprio autor, 2015.

A participação do COam na composição do COt foi de aproximadamente 88% na camada 0-5 cm (Figura 17); 94% na camada 5-10 cm e 96% na camada 10-20 cm. A participação do COp na composição do COt foi de aproximadamente 11,8 % na camada 0-5 cm; 5,6% na camada 5-10 cm e 3,87% na camada 10-20 cm, demonstrando a maior participação do COam na composição do COt. Resultados semelhantes foram obtidos por Carmo et al. (2012), que avaliaram as frações da

matéria orgânica num Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico sob manejo de plantio direto em cinco sistemas de cultivos: milho em monocultivo; *Brachiaria humidicola*; *Panicum maximum* cv Aruana; milho + *Brachiaria humidicola* e milho + *Panicum maximum* cv Aruana nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm e obtiveram percentagens do CO_{am} sobre o CO_t de 66,6 %, 67,2 %, 90,6 % e 89,5 % para a primeira, segunda, terceira e quarta camada respectivamente.

Os baixos teores do CO_p em relação ao CO_{am} se devem provavelmente à labilidade do CO_p (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1994) e à alta dependência do aporte de C via resíduos vegetais e grande variação da quantidade desses resíduos adicionados sob diferentes sistemas para a manutenção dos estoques de CO_p, se encontrando uma grande variação dessa fração no perfil do solo (NICOLOSO, 2005).

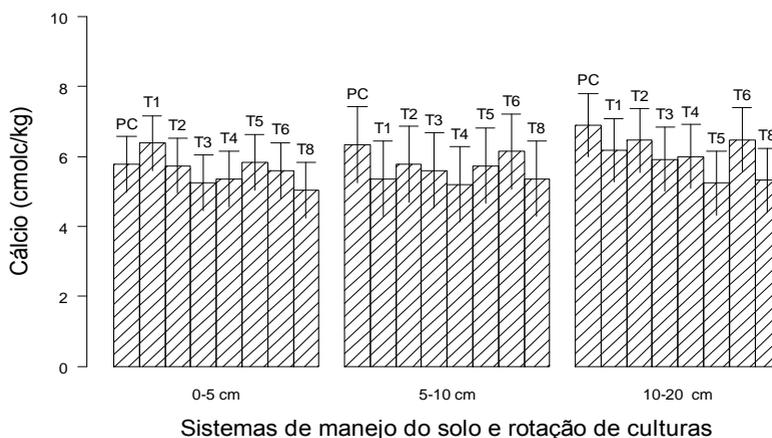
Figura 16- Relações COp/COT e COam/COT por camada, em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC



4.5.3 Ca, Mg e K

Em relação ao Ca, os tratamentos foram semelhantes ($P>5\%$) em todas as camadas avaliadas (Figura 17), tendo os teores variado de 5 a 6,3, 5,2 a 6,3 e de 5,2 a 6,9 cmolc/kg para as camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente. É importante lembrar que este solo foi adubado com gesso agrícola, o que pode estar contribuindo para os teores de Ca encontrados.

Figura 17-Teores de Ca em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC

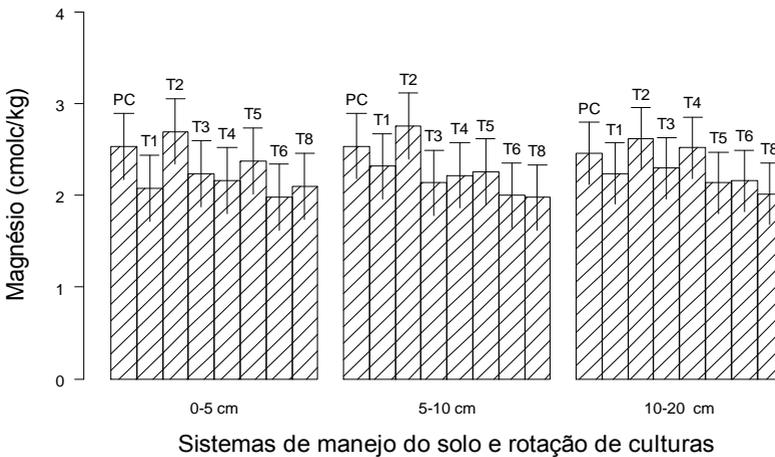


Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual, e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. Em cada camada, médias com mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste t de Student a 5%. Em cada camada, médias com barras de intervalos de confiança a 95% não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste F a 5%.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Em relação aos teores de Mg os tratamentos foram semelhantes ($P>5\%$) em todas as camadas avaliadas (Figura 18), tendo os teores variado de 1,9 a 2,7, 1,9 a 2,7 e 2 a 2,6 cmolc/kg para as camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respetivamente. Os teores de Mg e de Ca encontrados em todas as camadas de todos os tratamentos são adequados para a nutrição das culturas (CQFS-RS/SC, 2004).

Figura 18- Teores de Mg em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC.

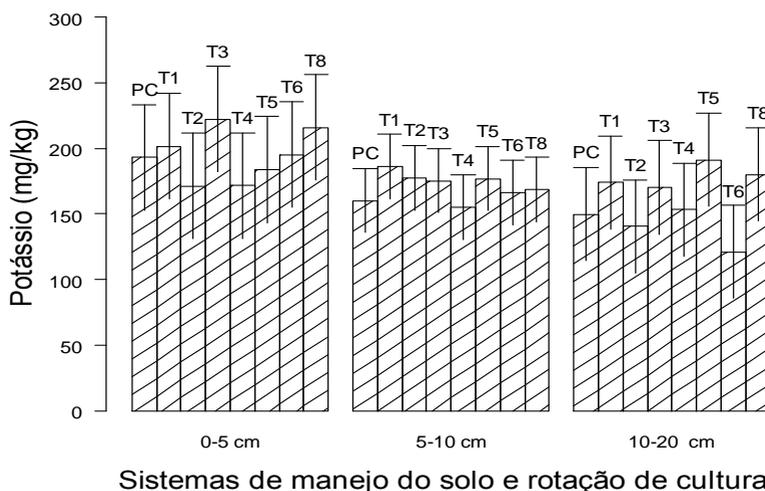


Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual, e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. Em cada camada, médias com mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste t de Student a 5%. Em cada camada, médias com barras de intervalos de confiança a 95% não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste F a 5%.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Para o K os tratamentos foram semelhantes ($P>5\%$) em todas as camadas avaliadas (Figura 20), tendo os valores variado de 171 a 222, 155 a 186 e de 121 a 191 mg/kg, para as camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente. Teores adequados de Ca, Mg e K foram também encontrados por Camargo (2011). No SPD associado a rotação de culturas devido aos resíduos culturais e ausência de revolvimento ocorre melhor ciclagem e menores perdas destes nutrientes por erosão e lixiviação.

Figura 19- Teores de K em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC



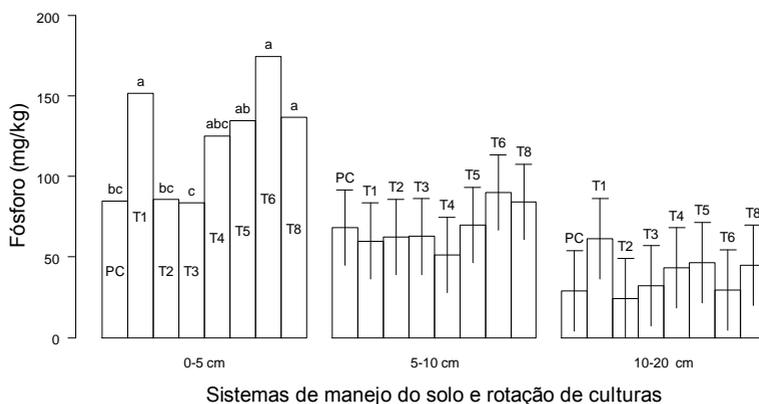
Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual, e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. Em cada camada, médias com mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste t de Student a 5%. Em cada camada, médias com barras de intervalos de confiança a 95% não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste F a 5%.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

4.5.4 P e N

Em relação ao P, somente houve diferenças significativas entre os tratamentos na camada de 0-5 cm ($P < 5\%$) (Figura 21), onde o tratamento T6 apresentou maior valor e foi significativamente superior a PC, T2 e T3. Nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, os tratamentos foram semelhantes ($P > 5\%$), tendo os teores de P variado de 51,2 a 90 e de 24,4 a 61,6 g/kg, respectivamente. As diferenças verificadas nos teores de P entre os sistemas conservacionistas na camada de 0-5 cm, provavelmente se devem às diferenças na absorção pelas culturas que compõem cada sistema de rotação e também aos diferentes aportes de MOS por parte de cada sistema de rotação. Em relação ao baixo teor de P apresentado na camada de 0-5cm pelo PC, provavelmente se deve ao menor aporte de MOS nessa camada por esse sistema, ocasionando menor aporte de P e maiores perdas deste nutriente por erosão. É importante lembrar que este experimento foi adubado com superfostato simples, o que pode estar também influenciando nos teores de P encontrados. Os teores de P encontrados em todas as camadas de todos os tratamentos são adequados para a nutrição das culturas (CQFS-RS/SC, 2004).

Figura 20- Teores de P em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC



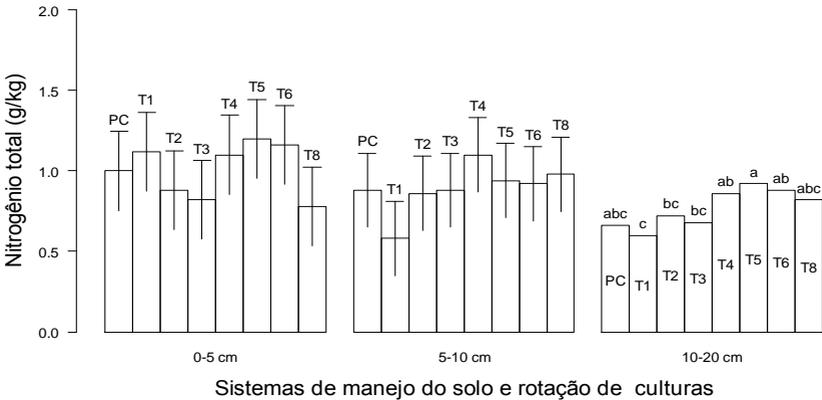
Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual, e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. Em cada camada, médias com mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste t de Student a 5%. Em cada camada, médias com barras de intervalos de confiança a 95% não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste F a 5%.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Em relação aos teores de N, os tratamentos foram semelhantes nas camadas de 0-5 e 5-10 cm ($P > 5\%$), tendo os seus teores variado de 0,78 a 1,2 e de 0,58 a 1,1 g/kg, respectivamente. Na camada de 10-20 cm, o tratamento T5 apresentou o maior teor de N, não tendo diferido de T6, T4 e T8, o tratamento PC foi semelhante a todos. Nesta camada o baixo teor de N no PC pode ser explicado pela rápida decomposição de MOS propiciada por este sistema, ocasionando perdas de N por lixiviação e erosão. O baixo teor de N do T1 se deve provavelmente ao fato deste tratamento ser composto por uma sucessão milho-cebola, que aporta pouca

MOS e não contém nenhuma leguminosa. O maior teor de N observado para o T5 pode ser devido a maior e melhor exploração do solo via sistema radicular fasciculado das gramíneas (centeio e milho), incrementando os teores de N no solo via rizodeposição (FERREIRA et al., 2015).

Figura 21- Teores de N em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC



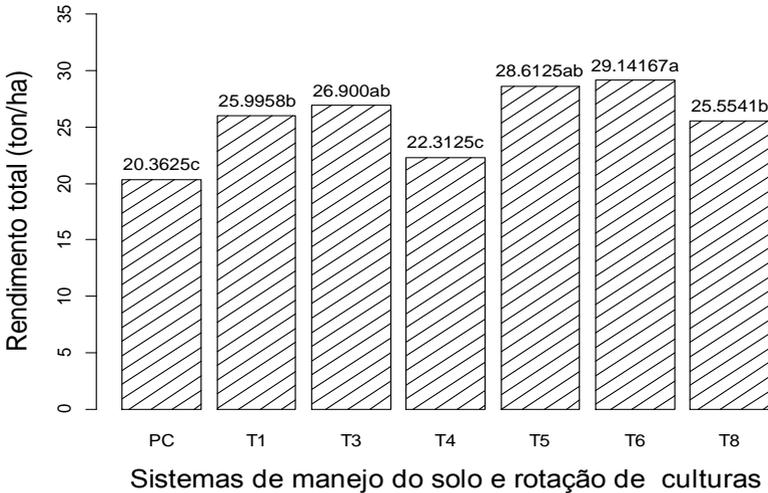
Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. Em cada camada, médias com barras de intervalos de confiança a 95% não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste F a 5%. Para a terceira camada, médias com letras iguais não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste de Friedman, a 5%.
Fonte: produção do próprio autor, 2015.

4.5.5 Rendimento de cebola

Os sistemas de manejo do solo tiveram efeitos diferentes sobre o rendimento da cebola ($P < 5\%$), tendo os valores variado de 29,1 Mg/ha observado no T6 a 20,4 Mg/ha observado no PC (Figura 23). O baixo rendimento do PC provavelmente se deve aos efeitos deste sistema sobre as propriedades físicas e bioquímicas do solo, como a deterioração da estrutura do solo e rápida decomposição da MOS, ocasionando maiores perdas de nutrientes por lixiviação e erosão assim como menor capacidade de infiltração de água no solo. O maior rendimento de T6 talvez seja explicado pelo fato deste tratamento ser composto por uma rotação com leguminosas, o que aumenta os teores de N no solo beneficiando a cebola.

Para a safra de 2011 (Figura 23), o tratamento T8 apresentou maior rendimento (44,294 ton/ha) tendo sido similar somente a T5, nesta safra o preparo convencional apresentou um rendimento de 35,8 ton/ha tendo sido igual a T1, T3, T4, T6. O tratamento T1 apresentou o rendimento mais baixo da cebola. Para a safra de 2012 T2 apresentou o maior rendimento de cebola (26,82 ton/ha), tendo superado somente T4, T6. O menor rendimento foi observado em T4 (20,35 ton/ha). Na safra de 2013 o PC teve o maior rendimento (41,05 ton/ha) tendo superado T1, T3, T5, T6.

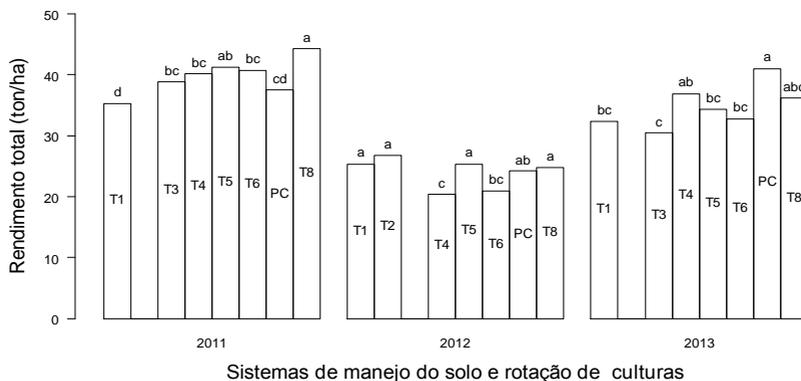
Figura 22- Rendimento médio total de cebola na safra de 2014 em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas, em Ituporanga, SC



Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: rotação comercial-cebola bienal, T3: milho-cebola bienal, T4: milho-mucuna-cebola bienal, T5: gramíneas de cobertura-cebola anual, T6: leguminosas de cobertura-cebola anual, PC: rotação de coberturas e cebola anual, e T8: consórcio de coberturas-cebola anual. Médias com mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste t de Student a 5%.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Figura 23- Rendimento médio total de cebola nas safras de 2011-2013 em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas, em Ituporanga, SC.



Tratamentos: T1: sucessão milho-cebola, T2: milheto-ervilhaca-milho-centeio:nabo-cebola, T3: milho-centeio-cebola, T4: mucuna-cebola, T5: milheto-centeio-cebola, T6: mucuna-centeio-cebola, PC: milho-cebola convencional, e T8: consórcio (mucuna-milheto-girassol)-cebola. Médias com mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste t de Student a 5%.

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

4.6 CONCLUSÕES

Os teores de Ca, Mg, K, COt e COam foram semelhantes em todas as camadas avaliadas, o que não ocorreu com os outros atributos químicos. Para o COp na camada de 5-10, T1 apresentou menor teor em relação a todos os outros. Em relação ao P na camada de 0-5 cm, T8 apresentou maior teor em relação a PC, T2 e T3, diferenças no teor de N foram obtidas na camada de 10-20 cm, onde T5 apresentou maior valor em relação a T6, T4 e T8.

As práticas do não revolvimento do solo, manutenção de cobertura permanente e rotação de culturas beneficiam a cebola.

REFERÊNCIAS

ARANDA, V. et al. Effect of soil type and management (organic vs. conventional) on soil organic matter quality in olive groves in a semi-arid environment in Sierra Mágina Natural Park (Spain). **Geoderma**, Amsterdam, v. 164, n. 1-2, p. 54-63, 2011.

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS DE TECNOLOGIA-ACATE. **Agronegócio e tecnologia**. Santa Catarina, Anuário 2014. Disponível em: <http://www.acate.com.br/sites/default/files/anuarioacate_0.pdf>. Acesso em 15 de ago. 2014. p. 96.

ALLEONI, L.R.F.; ZAMBROSI, F.C.B.; MOREIRA, S.G.; PROCHNOW, L.I.; PAULETTI, V. Liming and electrochemical attributes of an Oxisol under no tillage, **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, p. 119-123, 2003.

ALLEONI, L.R.F.; CÂMBRI, M.A.; CAIRES, E.F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 923-934, 2005.

ALLEONI, L. R; MELLO, J. W. V. ROCHA, W. S. D. Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. In: VANDER, F. M.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). **Química e Mineralogia do Solo: Parte II-Aplicações**. 1.ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

ALLEONI, L. R. F. et al. Acidity and aluminum speciation as affected by surface liming in tropical no-till soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.74, n. 3, p. 1010-1017, 2010.

ANGHINONI, I. Adubação fosfatada e potássica em cultivo mínimo. In: FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. (Org.). **Manejo e fertilidade de solos em cultivo mínimo**. 2. ed. Guarapuava: Fundação de Pesquisa Agropecuária, 2009. p. 91-109.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3–22, 2005.

BAYER, C. **Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas**. 1992. 172 p. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

BAYER C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de manejos de solos**. 1996. 240 f. Tese (Doutorado) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BAYER, C.; MEILNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 1-26.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis na matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Sci. Agric.**, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001.

BLANCO-CANQUI, H.; STONE, L. R.; STAHLMAN, P. W. Soil response to long term cropping systems on an Argiustoll in the central great plains. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 11, n. 2, p. 602-611, 2010.

COSTA JUNIOR, C; PÍCCOLO, M. DE C; SIQUEIRA NETO, M; CAMARGO, P.B; CERRI, C.C; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no Bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1311-1321, 2012.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO-CQFS. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: SBCS. Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.

CAIRES, E.F.; CHUERI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 315-327, 1999.

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, L.R.F; CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 87-98, 2006.

CALEGARI, A.; HARGROVE, W. L.; RHEINHEIMER, D. S.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M. F. Impact of long-term no-tillage and cropping system management on soil organic carbon in an oxisol: a model for sustainability. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 1013-1019, 2008.

CAMARGO, E. S. **Manejo conservacionista do solo e rotação de culturas para cebola**. 2011. Dissertação (Mestrado) -Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina, Lages, 2011.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 2, p. 777-783, 1992.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLITOT, E. T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. **Soil Sci. Am. J.**, Madison, v. 58, p. 123-130, 1994.

CAMBRI, M. A. **Calagem e formas de alumínio em três localidades sob sistema de plantio direto. 2004.** Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2004.

CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; BRASIL, E. L.; IWATA, B. F. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **PAB**, v. 48, p. 304-312, 2013.

CANCÈS, B.; PONTHEIU, M.; CASTREC-ROUELLE, M.; AUBRY, E.; BENEDETTI, M.F. Metal ions speciations in a soil and its solution: experimental data and model results. **Geoderma**, Amsterdam, v. 113, p. 641-355, 2003.

CANELLAS, L. P.; A. C. X.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades

químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhiço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003.

CARMO, F. F.; FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; VIVALDI, L. J. & ARAÚJO, L. G. Frações granulométricas da matéria orgânica em latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 420-431, 2012.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 87-98, 2006.

CHRISTENSEN, B. T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. IN: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Eds.). **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Lewis, 1996. p. 97-165.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:1055-1064, 2002.

COELHO, M. E. H.; FREITAS, F. C. L.; CUNHA, J. L. X. L.; SILVA, K. S.; GRANGEIRO, L. C.; OLIVEIRA, J. B. Coberturas do solo sobre a amplitude térmica e a produtividade de pimentão. **Planta daninha**, v. 31, p. 369-378, 2013.

COOPERATIVA DOS AGRICULTORES DE PLANTIO DIRETO -Cooplantio. **Plantio direto - Reduzir custos de produção, melhorar a produtividade e preservar os recursos naturais**, 2012. Disponível em: <http://www1.cooplantio.com.br/quem-somos/a-cooplantio.aspx>. Acesso em 21 dezembro 2012.

COMIN, J. J.; LOSS, A.; BASSO, A. B.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. DE P.; OLIVEIRA, R. A. DE. LIMA, J. W. C. Carbono orgânico e índices de agregação do solo em sistema plantio direto agroecológico da cebola. In:FERTBIO, 2014, Araxá. **Fertilidade e biologia do solo: integração e tecnologia para todos**, 2014.

COMIN, J. J.; LOSS, A.; KOUCHER, L. P.; MACHADO, L.N.; KURTZ, C.; MAFRA, A.L. Índice de Agregação e Distribuição de Agregados por Diâmetro em Sistema de Cultivo Mínimo e Convencional da Cebola. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, XXXV, 2015, Natal/RN. **O Solo e suas múltiplas funções**. Natal/RN, 2-7 agosto 2015. p. 1-4.

DEMARCHI, J.C; PERUSI, M.C; PIROLI, E.D. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo - SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **R. Bras. Tecnol. Aplic. Ci. Agric.**, p. 7-29, 4:7-29, 2011.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B. A. (Eds.). **Defining soil quality for a**

sustainable environment: Soil Science Society of America. Madison, 1994. p. 3-21.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Solos do Estado de Santa Catarina:** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 726 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. rev. e atualizada. Rio de Janeiro, 2011. 212 p.

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina- EPAGRI. **Sistema de produção para a cebola.** 4. revisão. Florianópolis, 2013. 106 p.

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina- EPAGRI. **Guia Prático do Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH).** Florianópolis, abril 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS- FAOSTAT. **Áreacolhida, rendimento e produção mundial da cultura da cebola.** Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/S>>. Acesso em 9 fev. 2015.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. J. V. (Ed.). **Física do Solo.** Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010.

FERREIRA, L. B.; LOSS, A.; SANTOS, L.H.; COMIN, J.J.; KURTZ, C.; MAFRA, A.L. Carbono e Nitrogênio nos Agregados do Solo sob Sistema de Cultivo Mínimo e Convencional de Cebola. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, XXXV, 2015, Natal/RN. **O Solo e suas múltiplas funções**. Natal/RN, 2-7 de agosto, 2015. p. 1-4.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA (Febrapdp). **Área de plantio direto no Brasil**.

Disponível em:

<http://www.febrapdp.org.br/download/Ev_area_pd_brasil.pdf. >

Acesso em 20 set 2014.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:909-20, 2012.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado de Goiás. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2615-2628, nov./dez. 2013.

GENRO JUNIOR, A.S.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo Argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:477-84, 2004.

GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J.O.;
CLARKE, P. Soil-structure and carbon cycling. **Aust. J. Soil Res.**, 32:1043-1068, 1994.

HICKMANN, C.; COSTA, L.M.; REYNOUD, C.E.G.;
FERNANDES, R. B. A.; ANDRADE, C. L. T. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um argissolo Após 23 anos de diferentes manejos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 128-136, 2012.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C. Atributos de solo e produtividade de culturas em sistemas de manejo conduzidos por dezesseis anos. **Bol. Pesq. Desenv.**, 54:1-63, 2009.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 1055-1061, 2012.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, 2015**. Disponível em:
<[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/lspa_201503.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/lspa_201503.pdf)>. Acesso em 12 maio 2015.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C. A. **Methods of soil analysis**:

Agronomy Monograph. Madison, American Society
Agronomy, 1965. p. 499-510.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: Universidade de
Passo Fundo, 2008. 212 p.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.
Indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho
distrófico típico sob plantio direto escarificado. **Ci. Rural**,
39:2475-81, 2009.

LIMA J.S.S; SILVA, S. A, SILVA, J. M. Variabilidade
espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-
Amarelo cultivado em plantio direto. **R. Ci. Agron.**, 44:16-23,
2013.

LUCIANO, R. V. et al. Propriedades físicas e carbono
orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural,
num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências
Agroveterinárias**, v. 9, n. 1, p. 9-19, 2010.

LAL, R. **Métodos para a avaliação do uso sustentável dos
recursos solo e água nos trópicos**: Documentos, 03.
Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97 p.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global.
Science, v. 304, p. 1623, 2004.

LOSS, A.; MORAES, A. G. L.; PEREIRA, M. G.; SILVA, E. M. R.; ANJOS, L. H. C. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, v.1, p.57-64, 2010.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIACOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **PAB**, v. 46, p. 1269-1276, 2011.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. P.; OLIVEIRA, R. A.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J.J. Carbono Orgânico Total e Agregação do Solo em Sistema de Plantio Direto Agroecológico e Convencional de Cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39:1212-1224, 2015.

LAGO, W. N. M.; LACERDA, M. P. C; NEUMANN, M. R. B. Indicadores de qualidade dos solos na microbacia do Ribeirão Extrema. **R. Bras. Eng. Agric. Amb.**, DF, 16:721-9, 2012.

MENEZES JÚNIOR, F. O. G. et al. (Coords.). **Sistema de produção para a cebola**. 4. revisão. Florianópolis, 2013. 106 p.

NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops and herbicide timing management on soybean yield under no-tillage

system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 2, p. 187-192, 2012.

NASCENTE, A. S.; LI, Y.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops and no-till effects on physical fractions of soil organic matter. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 130, n. 1, p. 52-57, 2013.

NICOLOSO, R. S. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

NOLLA, A. et al. Crescimento, morfologia radicular e liberação de compostos orgânicos por plântulas de soja em função da atividade de alumínio na solução do solo de campo natural. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 97-101, jan./fev. 2007.

OLIVEIRA, R. A. de; BASSO, A., COMIN, J. J.; KURTZ, C., BRUNETTO, G., LOVATO, P. E. PICCOLI, J. H. **Monitoramento da fertilidade num Cambissolo sob plantio direto de cebola em Santa Catarina: Cadernos de agroecologia** 8, 2013.

PACHECO, L. P. et al. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1787-1800, 2011.

PENTEADO, S. R. **Adbos verdes e produção de biomassa: Melhoria e Recuperação dos Solos**. 2. ed. São Paulo:Campinas, 2010. 168 p.

PUGET, P.; DRINKWATER, L. E. Short-term dynamics of root- and shoot-derived carbon from a leguminous green manure. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 65, p. 771–779, 2001.

PEZARICO, C. R; VITORINO, A.C.T, MERCANTE, F.M, DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **R. Ci. Agron.**, 56:40-7, 2013.

PEREIRA, M. F. S. et al. Ciclagem do carbono do solo nos sistemas de plantio direto e convencional. **R. Agrop. Científica no Semiárido**, v. 9, n. 2, p. 21-32, 2013.

RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C.; SANTOS, E. J. S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema cultivo mínimo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 713-721, 1998.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA; M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **R. Ci. Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 38-46, 2012.

RAMOS, F.T; MONARI, Y.C; NUNES, M.C.M; CAMPOS, D.T.S; RAMOS, D.T. Indicadores de qualidade em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagem extensiva no pantanal matogrossense. **Revista Caatinga**, 23:112-20, 2010.

REICHERT, J. M; SUZUKI, L. E.A. S; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A; SILVA, L.S; REICHERT, J. M. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; v. 5, p. 49-134, 2007.

SILVA, A. L. et al. Carbono e nitrogênio microbiano em sistemas de cultivo de cebola em um Cambissolo Húmico. **R. Ci. Agroveterinárias**, v. 13, n. 2, p. 142-150, 2014.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil**. 3. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2012. 768 p.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 387-394, 2001.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no

Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V.G. A.; LIMA, C. V. S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J.; CARVALHO, P.C.F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1273-1282, 2008.

SILVA, R. H; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:253-60, 2001.

SECCO, D; REINERT, D. J; REICHERT, J. M; SILVA, V. R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ci. Rural.**, 39:58-64, 2009.

SUZUKI, L. E. A. S; REINERT, D. J; REICHERT, J. M; LIMA, C. L. R. Estimativa da susceptibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:963-73, 2008.

STONE, L. F; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:395-401, 2001.

TAYLOR, S. A. ASHCROFT, G. L. **Physical edaphology – The physics of irrigated and nonirrigated soils.** San Francisco: W.H. Freeman, 1972. 532p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

TORRES, J.L.R, FABIAN, A.J; PEREIRA, M.G. Alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Ci. Agron.**, 35:437-45, 2011.

TORRES, J. L. R; PEREIRA, M. G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1609-18, 2008.

XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 247-258, 2006.