



CLEBER AMARAL GURGEL

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO EM ÁREA DE CULTIVO
ORGÂNICO**

**INCONFIDENTES-MG
2016**

CLEBER AMARAL GURGEL

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO EM ÁREA DE CULTIVO
ORGÂNICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito de conclusão do curso de Graduação em Engenharia Agrônômica no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - *Campus Inconfidentes*, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: D.Sc. Luiz Carlos Dias Rocha

**INCONFIDENTES-MG
2016**

CLEBER AMARAL GURGEL

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO EM ÁREA DE CULTIVO
ORGÂNICO**

Data de aprovação: 28 de abril de 2016

D.Sc. Luiz Carlos Dias Rocha
IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes
Orientador

PhD. Wilson Roberto Pereira
IFSULDEMINAS - *Campus* Inconfidentes

M.Sc. Oswaldo Francisco Bueno
IFSULDEMINAS - *Campus* Inconfidentes

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em memória de meu amado pai Benedito Amaral Gurgel, que com muito orgulho, muita honra e alegria batalhou, para que esse momento se concretizasse. Hoje ao lado de Deus me abençoa e me dá forças, deixando muitas saudades.

Muito obrigado meu pai!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela força, pela coragem e pela sabedoria adquirida, para que esse momento pudesse ser realizado, pois a batalha foi longa e difícil, mas com a perseverança e determinação felizmente hoje posso desfrutar desse momento tão especial.

A minha amada mãe Maria Afonsina, pelo amor depositado e pelo apoio durante todos esses anos, pelo incentivo durante esse período de estudos, onde pude sempre recorrer nos momentos difíceis e com grande carinho sempre me conforta e me passa muito entusiasmo. Deixo aqui meu carinho, respeito e admiração pela grande pessoa que é, por sempre acreditar em mim, mesmo quando eu jamais acreditasse que, depois de vários anos, pudesse realizar esse sonho de obter uma graduação. Muito obrigado por tudo minha mãe, te amo!

As minhas irmãs Cintia e Cibele, pelo apoio em todos os estágios de minha vida, pelos conselhos e pelos momentos tão especiais que passamos juntos e por sempre poder contar com vocês. Muito obrigado e sempre serei grato pela confiança. Amo vocês!

A Edmara, minha irmã mais velha, que sempre me incentivou e sempre se preocupou tanto comigo, agradeço de coração!

A Maria Claudia, minha grande companheira, pessoa especial que soube com paciência e carinho me ajudar nessa etapa de grande importância na minha vida, incentivando, apoiando e sempre acreditando em mim. Meu muito obrigado!

Agradeço aos meus professores que ao longo do curso, compartilharam de seus ensinamentos, ajudando a formar opiniões e conhecimentos para minha formação pessoal e profissional.

Ao IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes, pela oportunidade e o apoio para realização desse trabalho.

Gostaria de agradecer pessoas especiais, que me ajudaram na conclusão desse trabalho: Ao meu amigo Rafael Mota, que sempre disposto, me ajudou nas coletas das amostras de solo, meu muito obrigado! Ao grande irmão Douglas Gino (Bahiano), grande amigo e companheiro que sempre me ajudou. Ao meu amigo Álvaro Guerrero, grande amigo que sempre que precisei estava disposto. Ao meu amigo Douglas Preto, que mesmo debaixo de sol quente, esteve presente e contribuiu para a realização desse trabalho; ao Felipe Stabolli e ao Giovanni pela ajuda; a minha amiga Nariane, pessoa de enorme coração, que sempre muito atenciosa, me auxiliou nas práticas no laboratório, muito obrigado! Ao Eduardo Rodrigues, grande pessoa e profissional, que me auxiliou sempre que possível com os equipamentos necessários nos laboratórios. Que Deus possa retribuir a boa vontade de todos com muitas graças em suas vidas.

A primeira turma de Engenharia Agrônômica do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes (Turma 1101-1) por esses intensos cinco anos juntos, onde diariamente era excelente poder chegar na sala de aula e encontrar todos. Espero sempre reavê-los e que sejam excelentes profissionais. MUITO OBRIGADO A CADA UM!

Dedico esse parágrafo as amizades verdadeiras que aqui construí nesses anos, aos meus irmãos que sempre prezarei e sempre carregarei para a vida toda. Ao Fidelys (Papai), sempre engraçado, fazendo suas molecagens; ao Valfrido (Val), patriarca da turma, a pessoa mais jovem do Brasil e que, quando encontramos, há sempre motivos de grandes risadas; ao Lucas Moura (Biga), grande parceiro; aos amigos Lucas Barbosa (Borda), Rafael Paes (Porkupine), Matheus (Matheusão), Alberto (Alemão), William e Paulão.

Gostaria de agradecer em especial ao “GRUPO DE ESTUDOS EM ENTOMOLOGIA E AGROECOLOGIA RAIZ DO CAMPO”, onde juntos desenvolvemos trabalhos excepcionais, contribuindo enormemente para minha formação profissional, ensinamentos que levarei para sempre. Que o grupo sempre se fortaleça e que sempre continue contribuindo para a agricultura orgânica e familiar, desenvolvendo projetos tão importantes e especiais. Sempre levarei comigo cada momento juntos, viagens, trabalhos, conversas, aprendizados com os produtores e ensinamentos do nosso ilustre professor Luizinho e da querida Aloísia. MUITO OBRIGADO A CADA MEMBRO DO GRUPO PELA AMIZADE E CONTINUEM FIRMES NO IDEAL!

Agradeço ao CNPq e também ao PROEXT, pela colaboração nos projetos realizados e que estão em andamento, do “Grupo de Estudos em Entomologia e Agroecologia Raiz do Campo”.

Ao professor e amigo Luiz Carlos Dias Rocha, profissional de grande caráter e sabedoria, obrigado por todos os ensinamentos, pela confiança, pela dedicação. Muito obrigado pela disposição e presença, não somente na realização desse trabalho, mas ao longo de toda minha formação acadêmica. Que Deus sempre lhe abençoe com muita saúde e muita força, para continuar com os trabalhos importantíssimos para o desenvolvimento da agricultura orgânica na nossa região e no Brasil.

Aos membros da banca, Wilson Roberto Pereira e Oswaldo Francisco Bueno, que aceitaram participar da avaliação e auxiliaram na correção desse trabalho, indicando alguns erros e apontando algumas ideias e sugestões, a fim de gerar um trabalho melhor. Muito obrigado!

Agradeço a todos, que de alguma forma, passou pela minha vida nesses anos maravilhosos que aqui vivi. Jamais me esquecerei de quanto foi proveitoso cada momento e que as amizades aqui criadas permaneçam eternamente!!! Obrigado e grande abraço.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1. Utilizações do solo e sua importância	3
2.2. Causas da degradação dos solos	4
2.3. Problemas gerados pela má utilização dos solos.....	5
2.4. Benefícios dos sistemas orgânicos para os solos.....	5
2.5. Ferramentas de estudo da qualidade do solo	6
2.5.1. Densidade de partículas	7
2.5.2 Densidade do solo	7
2.5.3 Umidade gravimétrica.....	8
2.5.4. Porosidade total	9
2.5.5. Textura do solo	10
2.5.6. Resistência do solo à penetração	11
3. MATERIAIS E MÉTODOS	12
3.1. Localização da área de estudo	12
3.2. Descrição da área.....	12
3.3. Condução do experimento	13
3.4 Análises realizadas.....	13
3.4.1 Densidade de partículas	14
3.4.2 Densidade do solo	15
3.4.3 Umidade gravimétrica.....	15
3.4.4 Porosidade total	16
3.4.5 Textura do solo	17
3.4.6. Resistência à penetração	20
3.5. Análise dos dados.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1. Densidade de partículas	22
4.2. Densidade do solo	23
4.3. Umidade gravimétrica.....	24
4.4. Porosidade total	26
4.5. Textura do solo	27
4.6. Resistência à penetração	28
5. CONCLUSÕES.....	32
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

RESUMO

Para uma produção orgânica é necessário que práticas adequadas sejam realizadas, a fim de diminuir a degradação e conseqüentemente a perda da qualidade química e física dos solos. A determinação da Física do Solo é de grande importância, pois suas características indicam as limitações de um solo em relação ao desenvolvimento das culturas. O objetivo desse trabalho foi de caracterizar e analisar os parâmetros físicos do solo em área de cultivo orgânico no setor de Agroecologia e Produção Orgânica do IFSULDEMINAS - *Campus* Inconfidentes. Foram determinadas a Densidade de Partículas (DP), a Densidade do Solo (DS), a Porosidade Total (PT), a Umidade Gravimétrica (UG), a Textura do Solo (TS) e a Resistência à Penetração (RP). A área em estudo foi dividida em três talhões (A, B e C). A determinação da DS e UG, foram coletadas amostras nas profundidades de: 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Para a DP, PT e TS, foram coletadas amostras nas profundidades de 0 a 20 cm. A DP para a Área A apresentou teores normalmente encontrados em outros trabalhos nas três áreas analisadas. A DS apresentaram para as camadas superiores, valores apropriados para as culturas, indicando baixa compactação dos solos. A UG apresentou porcentagens para as três áreas de 17,80% até 23,36%. A PT apresentou porcentagens entre 44,27% a 49,71%, indicando bons teores de poros nesses solos. A TS apresentou classe textural Franco-argilo-arenosa para as três áreas. A RP apresentou baixa e moderada resistência para profundidades de 0-20 cm e alta resistência para as profundidades de 20-40 cm. As áreas apresentaram bons resultados para o cultivo, tendo em vista os resultados favoráveis na camada mais superficial do solo, para os parâmetros físicos analisados.

Palavras-chave: Propriedades físicas do solo; Produção sustentável; Análise física do solo.

ABSTRACT

For an organic production it is necessary that appropriate practices are carried out in order to reduce the degradation and therefore the loss of chemical and physical characteristics of the soil. Determination of Soil Physics is of great importance because its characteristics indicate the limitations of a soil for the development of cultures. The aim of this study was to characterize and analyze the soil physical parameters in area of organic farming in Agroecology and Production Organic sector of IFSULDEMINAS – *Campus Inconfidentes*. Were determined Particle Density (DP), the Soil Density (DS), the Total Porosity (PT), the Gravimetric humidity (UG), the Soil texture (TS) and the resistance to penetration (RP). The study area was divided into three plots (A, B and C). The determination of the DS and UG, depths samples were collected in the: 0-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm. For DP, PT and TS, samples were collected at depths of 0 to 20 cm. The DP for Area A had levels normally found in other works in three areas analyzed. The DS presented to the upper layers, suitable values for cultures, indicating low soil compaction. UG showed percentages for the three areas of 17.80% to 23.36%. PT showed percentages between 44.27% to 49.71%, indicating good levels of pores in these soils. TS presented textural class Franco-sandy-clay for the three areas. RP showed low and moderate resistance to depths of 0-20 cm and high resistance to depths of 20-40 cm. Ace areas showed good results for cultivation in view of the favorable results in the most superficial layer of the soil, to the physical parameters analyzed.

Keywords: Soil physical properties; sustainable production; soil physical analysis.

1. INTRODUÇÃO

Para uma produção sustentável são necessárias que práticas adequadas sejam realizadas, a fim de diminuir a degradação e conseqüentemente a perda da qualidade química e física dos solos. Práticas como a utilização excessiva de fertilizantes químicos, tráfego de animais e maquinários pesados, manejo intenso dos solos para cultivo, entre outras práticas, acabam levando os solos ao esgotamento e também a níveis de compactação elevadas, causando diminuição na produção e perdas de nutrientes por lixiviação.

A determinação da Física do Solo é de grande importância, pois suas características indicam as limitações de um solo em relação ao desenvolvimento das culturas. Esses parâmetros físicos indicam como se apresentam os espaços porosos, a densidade do solo e das partículas, a sua textura, os níveis de compactação, a estabilidade dos agregados e a umidade do solo.

A Física do Solo possibilita o estudo e as definições das propriedades presentes em determinados solos, podendo ser quantificados e qualificados, de forma que a sua utilidade e os mecanismos que a regulam sejam compreendidas. Entender a física do solo é de suma importância, pois através dela, é possível adotar técnicas de manejo corretas e apropriadas, gerando uma utilização racional e sustentável do solo.

Fisicamente um solo é apontado como ideal para o desenvolvimento das culturas, se apresentado com baixa resistência, arejamento adequado, fornecimento favorável de calor e retenção apropriada de água, juntamente quando este apresentar uma boa infiltração de água e também estabilidade dos agregados adequada.

A compactação dos solos é um agravante para a produção. Em níveis elevados, reduzem o volume do solo e conseqüentemente os macroporos, alterando a densidade do solo, propriedades responsáveis pela retenção e circulação de água e ar nos solos. Essas alterações contribuem para o aumento da resistência à penetração, dificultando o desenvolvimento das raízes, contribuindo também para a diminuição da aeração e causando diferenças na temperatura, critérios importantes que dificultam a absorção de nutrientes pelas plantas.

Práticas agroecológicas contribuem para o manejo mais sustentável dos solos, pois prezando pela fertilidade do solo, evitam práticas contínuas de revolvimento do solo, diminuindo conseqüentemente o tráfego de máquinas. A rotação de culturas também auxilia na sustentabilidade do solo, diminuindo a degradação física, química e biológica, contribuindo para a recomposição da matéria orgânica e protegendo os solos da exposição direta a ação dos agentes climáticos.

Melhorando a qualidade do solo, o cultivo orgânico aproveita de fontes de nutrientes presentes no próprio solo, essa prática evita que sejam utilizados fertilizantes químicos, que hoje são utilizados em quantidades extremas, prejudicando o meio ambiente. Outra prática importante relacionado a melhoria da qualidade do solo, a adubação verde auxilia na ciclagem de nutrientes e no aumento da matéria orgânica.

O objetivo desse trabalho foi de caracterizar e analisar a física do solo em área de cultivo orgânico no setor de Agroecologia e Produção Orgânica do IFSULDEMINAS, *Campus* Inconfidentes, determinando a Densidade de Partículas, a Densidade do Solo, a Porosidade Total, a Umidade do Solo, a Textura e a Resistência à Penetração.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Utilizações do solo e sua importância

O solo é um sistema natural dinâmico e vivo, onde regula no ecossistema seu balanço global e a produção de fibras e alimentos, servindo de suporte físico para o crescimento vegetal, disponibilizando para as raízes nutrientes, oxigênio e água (DORAN e LIEBIG, 1996). Tem importante papel na degradação de componentes poluentes e também na regulação hídrica do ambiente.

A formação do solo provém da intemperização de diferentes minerais presentes no seu material de origem. Possuindo uma composição química de grande variedade, esses minerais também apresentam vastas faixas em suas taxas de intemperismo (TROEH e THOMPSON, 2007).

Buscando o aumento de alimentos, devido ao crescimento da população mundial, a produção agrícola expandiu áreas e com esse aumento trouxe consigo práticas como a monocultura, uso de pesticidas e de fertilizantes químicos e o manejo dos solos intensivamente. Essas práticas contribuem com a contaminação dos lençóis freáticos, erosão, diminuição da matéria orgânica, além de afetar processos bioquímicos e os microrganismos do solo (ARAÚJO et al., 2007).

A produção agrícola enfrenta um desafio neste século, à necessidade de um equilíbrio na produção de alimentos, onde se eleve a produtividade e conjuntamente a minimização dos impactos ambientais. Por isso, estabelecer uma manutenção juntamente com a melhoria do solo, requer uma atenção especial já que essa é uma relação de grande importância entre a sustentabilidade ambiental às práticas agrícolas (MENDES e REIS JUNIOR, 2010).

2.2. Causas da degradação dos solos

As principais causas da degradação do solo se dá através de processos erosivos, lixiviação dos nutrientes e da matéria orgânica, alteração do pH, compactação do solo e a redução de atividades enzimáticas de microrganismos (MELLONI, 2007).

Relacionado com a interferência na produtividade, a qualidade do solo tem a capacidade de mudar, em determinado tempo, decorrentes das práticas utilizadas pelos homens e ou naturalmente. Com a utilização intensiva do solo por métodos convencionais, as propriedades químicas e físicas dos solos são afetadas negativamente. Com as práticas de sistema de cultivo orgânico, utilizando de um menor revolvimento do solo, trazem consigo enormes benefícios, uma delas, a recuperação desses solos degradados (LIMA et al., 2007).

O sistema orgânico de produção está cada vez mais sendo exigido, pois há a necessidade de preservação dos recursos naturais e a otimização na produção, visando uma prática menos impactante e que forneça condição adequada e equilibrada de produtividade. Com um crescimento mundial em expansão, a agricultura orgânica apresenta aumento em disponibilidade de produtos e ampliação em áreas cultivadas agroecologicamente (SOUZA e RESENDE, 2003).

Priorizando o uso mais correto e mais sustentável, as práticas utilizadas em um sistema de cultivo orgânico auxiliam na qualidade do solo trabalhado. Para a agricultura orgânica, a qualidade do solo é um bem de valor fundamental para a produção, pois prezando por um acréscimo de matéria orgânica e um menor revolvimento do solo, essas práticas favorecem enormemente na qualidade física, química e biológica. Outros benefícios relacionados ao sistema de cultivo orgânico são a redução da erosão e da compactação desses solos.

Em sistema de cultivo orgânico, não garante o uso sustentável dos solos, mas por haver uma maior atenção com a qualidade do mesmo, melhores serão as possibilidades de que haja resultados positivos e assegurar a sustentabilidade nesses solos. Levando em consideração esses cuidados, o produtor orgânico assim como o convencional, também deve se atentar em realizar periodicamente as análises físicas e de fertilidade do seu solo, a fim de precaver desequilíbrios que possam prejudicar suas culturas (EMBRAPA, 2008).

2.3. Problemas gerados pela má utilização dos solos

Para um solo ser considerado adequado para o plantio e produzir o esperado, além de quimicamente correto, esse solo não deve possuir limitações físicas que inibem o desenvolvimento das raízes, limitações na absorção de nutrientes e também na absorção de água (DIAS JUNIOR, 2000; REICHERT et al., 2007).

A principal limitação física do solo para o desenvolvimento completo das plantas está relacionada à compactação do solo. O manejo do solo incorreto acarreta sua compressão, diminuindo o volume e, conseqüentemente, um adensamento das partículas presentes nos solos (CURI, 1993).

A compactação dos solos brasileiros pode ser atribuída ao tráfego intenso de maquinários pesados utilizados tanto em culturas anuais, como também nas culturas perenes. Outro fator importante está ligado ao pisoteio dos animais em pastagens, que em grandes quantidades causam grande compactação e agravadas com a umidade do solo. Para elevar a compactação de um solo, é preciso que haja pressões nesse solo superiores à de preconsolidação, indicativo em que um solo possui de suportar uma determinada carga em relação a sua umidade do solo (REICHERT et al., 2007).

O processo de erosão se dá após as gotas de chuva se chocarem diretamente com o solo exposto, onde essas quebram os agregados do solo. Essa quebra dos agregados gera pequenas partículas, que em suspensão no solo entram e bloqueiam os poros, selando superficialmente e impossibilitando a permeabilidade, gerando assim a lixiviação dos solos (SCHAEFER et al., 2002).

O solo que sofre com práticas agrícolas incorretas, proporciona em seu ecossistema, impactos negativos, afetando todos os seres vivos nele existentes. Promovendo ações químicas, físicas e biológicas, o solo é um elemento para o agroecossistema de importância vital (MIGUEL, 2010).

2.4. Benefícios dos sistemas orgânicos para os solos

Para haver a conservação do solo, a utilização correta da terra é o primeiro passo a ser efetuado. Empregando de uma melhor forma os recursos naturais oferecidos e

consequentemente preservando-os para as próximas gerações, é necessário o emprego para cada parcela de terra, sua utilização de acordo com a sua capacidade de sustentação, aptidão e produtividade econômica (LERPSCH et al., 1991).

Conhecendo as transformações ocorridas nas propriedades físicas e químicas do solo, promovidas pelo manejo, é possível oferecer modelos de produções sustentáveis, pois avaliando as modificações ocasionadas no solo por seu uso, estas assumem uma prática de fundamental importância (CANELLAS et al., 2003; RANGEL e SILVA, 2007; COSTA et al., 2008; CARNEIRO et al., 2009).

A agricultura orgânica preza pela não utilização de produtos advindos de produção não sustentável e degradante do meio ambiente, como os fertilizantes sintéticos, adubos químicos, transgênicos, máquinas e implementos pesados para o sistema de produção agrícola. A produção orgânica utiliza o mínimo revolvimento do solo, obtendo assim a conservação da biota nela presente e também mantendo as propriedades físicas e químicas (LIMA et al., 2007).

Por possuir uma grande riqueza de sesquióxidos, os solos tropicais apresenta uma diferença em seu ecossistema, ocasionando uma elevada agregação naturalmente, possibilitando um maior enraizamento, através da recuperação de sua bioestrutura (PRIMAVESI, 2002).

2.5. Ferramentas de estudo da qualidade do solo

A qualidade física do solo necessita de práticas adequadas, a fim de evitar a sua degradação. Não podendo ser encontrada diretamente, a qualidade física do solo pode ser mensurada por indicadores de sua qualidade, destacando a sua densidade de partícula e de solo, conteúdo da água presente, textura, porosidade e também pela resistência à penetração (DORAN e PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1997; KARLEN et al., 2001).

2.5.1. Densidade de partículas

A densidade de partícula pode ser compreendida entre a relação das partículas sólidas que ocupam um determinado volume e a massa de uma amostra de solo. Para a indicação e para calcular em líquidos a velocidade de sedimentação de suas partículas, determinação da porosidade de forma indireta e a composição mineralógica, a densidade de partícula do solo é um indicativo de ampla relevância (FORSYTHE, 1975).

A densidade de partículas, também conhecida como densidade aparente, expressa resultados geralmente em gramas por centímetro cúbico, podendo variar entre os valores de 2,3 a 2,9 g/cm³ e possuindo valor médio de 2,65 g/cm³ (KIEHL, 1979).

Um dos métodos mais utilizados no Brasil, descrito por Kiehl (1979) e pela EMBRAPA (1997), para a determinação da densidade de partículas, é conhecido como o método do balão volumétrico (MBV). Com maior facilidade de penetrar nos poros presentes no solo e possuir, comparado com a água, uma menor tensão superficial, o álcool é o mais indicado, sendo utilizado para expulsar o ar contido nesses poros.

Podendo variar de 0,6 a 1,0 g cm⁻³, a matéria orgânica presente no solo influencia de forma relevante nos valores de densidade de partícula, acarretando uma diminuição na sua densidade (KIEHL, 1979).

2.5.2 Densidade do solo

A densidade do solo é um grande indicativo do estado de conservação do solo, onde os diferentes tipos de manejo do solo e suas utilizações alteram primeiramente essa propriedade. É um parâmetro utilizado para avaliar o adensamento ou mais usualmente chamado de compactação dos solos (CAMARGO, 1983).

O teor de matéria orgânica presentes no solo e a textura, afetam de forma natural sobre a densidade do solo, podendo ainda ser agravados pela ação do homem, quando esses solos sofrerem com práticas incorretas e gerando assim sua compactação. Quando esses solos sofrem com a compactação, há o aumento de sua densidade e conseqüentemente a redução dos macroporos, afetando a porosidade. Havendo variações nas proporções da quantidade de umidade presente no solo, pode levar a densidade do solo a teores críticos, de maneira que valores baixos de umidade, a disponibilidade de água e a resistência à penetração podem ser

fatores limitantes para as culturas, e havendo excesso de umidade outro fator limitante seria a aeração do solo (LETEY, 1985; TORMENA et al., 1998).

Aumentando com a profundidade, a densidade do solo sofre alterações com alguns fatores, como a diminuição da penetração das raízes, compactação gerada pelo peso das camadas superiores, decréscimo dos poros causado pela sedimentação da argila, matéria orgânica com teores reduzidos e outros fatores (COSTA et al., 2003).

Para determinar a Densidade do Solo no Brasil, há três principais práticas que são mais utilizadas, o método da proveta, o do torrão impermeabilizado e o do anel volumétrico (ou cilindro volumétrico) (EMBRAPA, 2011).

De acordo com a EMBRAPA (2011), para a determinação da densidade do solo são utilizados anéis metálicos que possuem volume conhecido, onde utilizando de um martelo pedológico são introduzidos no solo para a realização da coleta das amostras. Em seguida, com a ajuda de uma faca são retiradas as sobras do solo dessas amostras, deixando o volume dos anéis semelhantes com o do solo coletado.

Após a coleta, as amostras são secas por aproximadamente dois dias em estufa a 105°C quantificando assim a densidade, pela relação entre a massa do solo seco (g) e o volume (cm³).

2.5.3 Umidade gravimétrica

Influenciando diretamente o volume de água acondicionado nos solos, assim como sua compactação, sua resistência e outros fatores, a determinação da umidade é de grande relevância, pois através dela pode-se determinar o deslocamento da água no solo, auxiliando na escolha de práticas corretas para irrigação e também de manejo das culturas (BERNARDO et al., 2006).

Considerando os poros e os sólidos dos solos, determina-se o volume, caracterizando assim o indicativo da qualidade estrutural desse solo. As características do sistema poroso são definidas através do arranjo das partículas de solo, variando com a textura, profundidade, forma dessas partículas e outros fatores como os ambientais e externos. É necessário repetições, pois o solo apresenta variabilidades naturais, importante para haver uma confiabilidade maior nos resultados (AZEVEDO, 2004).

Utilizando de métodos diretos como o volumétrico e gravimétrico, ou por métodos indiretos, como o de atenuação de radiação gama, atenuação de nêutrons e outros mais, a umidade pode ser estabelecida. Sendo de grande importância, a umidade é um ótimo parâmetro para o entendimento dos meios de acumulação e de fornecimento de água no solo (LIBARDI, 2005).

2.5.4. Porosidade total

Compreendida como a fração volumétrica do solo preenchida com água ou ar, a Porosidade do solo consiste no espaço por onde se locomove a solução presente no solo, sendo composta por ar, água e nutrientes, perfazendo o ambiente onde ocasiona os processos dinâmicos da solução do solo e do ar (HILLEL, 1970). A microporosidade e a macroporosidade estão incluídas na determinação da porosidade total do solo em estudo (CURI et al., 1993).

A porosidade está diretamente ligada com a capacidade de um solo em reter água, pois quando se encontra em teores elevados favorece o preenchimento desses poros. As formas de manejo que esse solo recebe, podem afetar esses espaços porosos. Solos com textura mais fina, geralmente apresentam uma maior retenção e disposição de água para as plantas, comparado com os solos de textura mais grossa (KLAR, 1984).

Solos arenosos apresentam uma menor porosidade total, assim como solos com um grau de compactação elevadas ou deficientes em matéria orgânica, pois a porosidade do solo é diretamente relacionada com a textura, teores de matéria orgânica e também o grau de compactação dos solos. Via de regra, solos argilosos podem apresentar de 40 a 60% de porosidade total, prevalecendo os microporos. Os solos com característica arenosa apresentam entre 35 a 50% de porosidade total, prevalecendo os macroporos (AZAMBUJA, 1996).

Apresentando uma elevação na resistência à penetração e também no grau de compactação do solo devido à diminuição dos espaços porosos do solo, a porosidade total apresenta alta relação com esses parâmetros (MERCANTE et al., 2003).

O acréscimo de matéria orgânica no solo pode favorecer a porosidade do solo, pois auxilia na redução da densidade e assim aumentando os espaços vagos nesse solo, ou a utilização de algumas práticas mecânicas como a utilização do subsolador ou escarificador.

Para a melhoria da porosidade, plantas com amplo sistema radicular, podem favorecer a diminuição da densidade do solo, elevando a porosidade de aeração próximo as raízes, ampliando a macroporosidade em relação a porosidade total (KIEHL, 1979).

2.5.5. Textura do solo

Segundo Santos et al. (2005), a textura “refere-se à proporção relativa das frações granulométricas - areia (a mais grosseira), silte e argila (a mais fina) - que compõem a massa do solo”.

A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) classifica em quatro diferentes classes a textura componente dos solos, sendo: Areia Grossa, composta por partículas de tamanho entre 2 a 0,2 mm; Areia Fina com partículas entre 0,2 a 0,075 mm; Silte apresentando partículas entre 0,075 a 0,002 mm e a Argila, com partículas menores que 0,002 mm (SANTOS et al., 2005).

Essas proporções são determinadas em uma amostra de terra fina e seca. É uma propriedade física do solo de grande importância na agricultura, influenciando diretamente na aeração do solo, na infiltração e retenção de água, favorecendo a prática da irrigação. Outra importante característica da textura do solo é sua pequena alteração a um longo período de tempo (ARAÚJO et al., 2003).

Variando de pequena forma durante um longo tempo, a caracterização da textura de um solo é de grande importância. Causadas pela intemperização ou pelo processo erosivo, as mudanças geradas na textura somente acontecerão devidos a esses fatores, podendo ocorrer em períodos de séculos ou milênios. Para esse parâmetro físico, a forma de manejo e sua utilização pouco afetarão em sua textura, ocorrendo variações quando essas estiverem ligadas com outras características físicas do solo (REINERT e REICHERT, 2006).

Determinada por diferentes meios, o método da pipeta para a determinação da granulometria se destaca, consistindo na avaliação da velocidade de sedimentação das partículas presentes no solo em meio aquoso, utilizando de pipetagem para a coleta das partículas de silte e argila e peneiramento para determinação da areia, onde posteriormente são fracionadas para a determinação das mesmas (EMBRAPA, 2011).

2.5.6. Resistência do solo à penetração

Com importante função na agricultura, a resistência à penetração é um parâmetro que gera a identificação das camadas mais compactadas de um determinado solo (GENRO JUNIOR et al., 2004). Estudos apresentaram várias limitações ao desenvolvimento de plantas, relacionados aos índices de valores extremos de resistência à penetração, sendo principalmente geradas pela ação da densidade, textura e umidade do solo (SINNETT et al., 2008).

Utilizada para determinar a resistência que uma raiz em seu crescimento ou uma ferramenta utilizada no cultivo sofre ao penetrar através do solo, a resistência à penetração normalmente tende a aumentar devido à compactação e também através da diminuição da umidade, podendo ocorrer uma inibição da expansão das raízes (SILVA et al., 2004). A resistência à penetração no solo é um fator limitante para as culturas, diminuindo seu desenvolvimento e limitando a sua produção, pois esse parâmetro expressa o nível de compactação desse solo (RICHARDT et al., 2005).

Consistindo na ligação das partículas presentes no solo, a compactação diminui o volume que elas ocupam. Causadas por pressões na parte superficial do solo, essa ação gera uma elevação na densidade e diminuição dos poros, baixa infiltração e movimentação de água nesses solos (REICHERT et al., 2010).

Para se obter resultados de uma forma mais rápida e prática, os pesquisadores preferem por utilizar do penetrômetro para a determinação da compactação dos solos. Esse equipamento pode avaliar a resistência em diferentes camadas e profundidades, correlacionando esses valores com a textura e densidade do solo (SILVA et al., 2004).

Em uma área, pode haver diferenças no desenvolvimento das culturas, encontrando regiões com alto vigor das plantas e também podem ser encontradas regiões com baixo vigor, podendo estar relacionadas essas variações com a física do solo (MOLIN, 2002).

Dependente do tipo de solo e histórico de utilização do solo, a resistência à penetração pode ser alterada em diferentes profundidades em solos que são sujeitos a diferentes preparos para uso, onde o conhecimento desse parâmetro físico é de grande importância para estudos de variação espacial (BEUTLER et al., 2002).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização da área de estudo

O município de Inconfidentes – MG apresenta temperatura média anual de 19,3°C e precipitação média anual de 1.411 mm e está situado a uma altitude de 869 metros e suas coordenadas geográficas são 22°19'00'' de latitude Sul e 46°19'40'' de longitude Oeste. O clima é o tropical de altitude, com verão chuvoso, inverno seco e as noites frias (Cwb), segundo a classificação de Köppen (BRASIL, 1992; FAO, 1985).

O trabalho foi conduzido no Setor de Agroecologia e Produção Orgânica da Fazenda do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, *Campus* Inconfidentes – MG.

3.2. Descrição da área

A área estudada é cultivada diversas culturas, como por exemplo, o milho (*Zea mays*) de diversas variedades crioulas, feijão (*Phaseolus vulgaris*), ervilha (*Pisum sativum* L.), batata (*Solanum tuberosum*), mandioca (*Manihot esculenta*), banana (*Musa* spp), entre outras.

No local do experimento, foram conduzidos trabalhos com a cultura de morangos que, por muito tempo, foram estudadas na área. Posteriormente foram cultivadas nessa área batata, milho e recentemente feijão.

O solo no local é classificado como Cambissolo, possuindo pequena profundidade, apresentando um alto teor de minerais primários (minerais advindos de rocha), possuindo grandes quantidades de fragmentos rochosos no solo e também da presença de intemperização inicial do solo.

3.3. Condução do experimento

A área em estudo foi dividida em três talhões (A, B e C), de acordo com topografia da área cultivada no setor de Agroecologia. A área denominada “A” é a parte inferior do terreno, a área “B” a parte intermediária e a área “C”, a parte superior do terreno, conforme a Figura 1:



Figura 1: Setor de Agroecologia do IFSULDEMINAS - *Campus* Inconfidentes. Latitude: 22°18'41.75"S e Longitude: 46°20'7.06"O. Fonte: Adaptado do Google Earth (2016).

As amostras coletadas foram levadas, analisadas e realizadas todos os procedimentos no laboratório de Física do Solo, localizado na Fazenda – Escola do IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes.

3.4 Análises realizadas

Para determinação da Densidade do Solo e Umidade, foram coletadas em cada uma das três áreas, sete repetições (3x7) e separadas em quatro profundidades (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm).

Para a Densidade de Partículas, Porosidade Total e Textura do Solo, foram coletadas amostras nas profundidades de 0 a 20 cm, nas três áreas e também sete repetições.

A determinação da resistência à penetração foi realizada para cada uma das três áreas, a coleta de sete pontos, realizando três repetições (3x7x3), onde as amostras discrepantes foram novamente refeitas.

Foram utilizados para determinação dos resultados, os métodos descritos de acordo com a EMBRAPA (2011).

3.4.1 Densidade de partículas

As amostras coletadas nas profundidades de 0-20 cm para as três áreas, foram encaminhadas para o laboratório de solos do IFSULDEMINAS – *Campus Inconfidentes*, onde foram peneiradas e secas em estufa a 105°C por 24 horas, após esse período as amostras foram analisadas e caracterizadas como terra fina seca em estufa (TFSE). Para a pesagem foi utilizada uma balança de precisão de três casas decimais e utilizado uma placa de Petri para o auxílio da pesagem.

Após pesagem da TFSE, foram transferidos, com auxílio de funil, para o balão volumétrico com capacidade de 50 ml, 20 gramas de amostras dos solos. Com uma piceta contendo álcool 92,8% foi preenchida uma bureta, tomando-se com o cuidado de eliminar possíveis bolhas. Com a bureta completa, a mesma foi zerada e o menisco posicionado na linha de referência. Em seguida, foi aberto o registro da bureta aplicando cerca de 25 ml do álcool na amostra. Agitando a mistura por um minuto e em seguida deixando em descanso durante quinze minutos. Em seguida foi completado o volume do balão volumétrico até a marca de 50 ml.

O volume de álcool gasto para completar o balão volumétrico foi utilizado para calcular a densidade de partículas do solo através da seguinte equação:

$$DP = (a) / (50 - b)$$

Onde:

DP= Densidade de partículas (g/cm³)

a = Massa da amostra seca a 105°C (g)

b = Volume de álcool gasto da bureta para completar o balão volumétrico (ml)

3.4.2 Densidade do solo

Nas áreas, foram coletadas amostras de solo a uma profundidade de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm, com o auxílio de um amostrador de solo do tipo Cilindro de Uhland. Após a coleta, as amostras foram levadas ao Laboratório de Física do Solo do IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes, onde foram pesadas em balança de precisão e posteriormente permanecidas em estufa para a secagem por um período de 24 horas.

Após esse período, foi realizada novamente a pesagem das amostras, determinando assim, a massa do solo mais a massa do anel e em seguida determinando também somente a massa do anel, onde subtraindo os dois resultados, obtém a massa do solo seco em estufa.

Para o cálculo da Densidade do solo foi realizada a divisão da massa do solo sobre o volume do solo, sendo o volume do solo obtido através da seguinte equação:

$$DS = a / b$$

Onde:

DS = Densidade do Solo (g/cm^3)

a = Massa da amostra seca a 105°C (g)

b = Volume do cilindro, referente ao volume ocupado pelo solo seco (cm^{-3})

3.4.3 Umidade gravimétrica

Foram feitas em cada uma das três áreas estudadas, sete trincheiras e coletadas amostras nas profundidades de 0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm e 30-40 cm. O aparelho utilizado para coleta das amostras foi o amostrador tipo Cilindro de Uhland com o volume do anel definido. Os excessos de solo nas extremidades do anel foram removidos de modo a não comprometer a natureza da amostra. Em campo, todas as amostras coletadas foram identificadas e armazenadas em papel laminado.

Após a coleta, as amostras foram levadas ao Laboratório de Física do Solo do IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes, onde foram pesadas em balança analítica. Após pesagem, as amostras permaneceram em estufa de secagem por 24 horas a 105°C . Passado o

tempo e secagem, as amostras foram retiradas e colocadas em dessecador para esfriar e posteriormente estipuladas, através de pesagem, a umidade atual do solo nos quatro níveis de profundidade.

O volume da amostra de solo seco e úmida foi determinado de acordo com a equação:

$$PTA = PAS - PA - PPL$$

Onde:

PTA: Peso Total da Amostra (g)

PAS: Peso do Anel com Solo (g)

PA: Peso do Anel (g)

PPL: Peso do Papel Laminado (g)

Com os valores do solo úmido e seco, a determinação da umidade foi encontrada pela fórmula descrita no manual da EMBRAPA (2011).

$$UG = ((a - b) / b) \times 100$$

Onde:

UG = Umidade gravimétrica (%)

a = massa da amostra úmida (g)

b = massa da amostra seca (g)

3.4.4 Porosidade total

A caracterização da porosidade do solo foi determinada através de amostragens com as repetições em profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm.

Após a coleta das amostras, as mesmas foram colocadas em estufa durante 24 horas a 105°C. Após a secagem, foram retiradas da estufa para esfriar em recipiente contendo sílica gel e logo em seguida pesadas com a utilização de balança analítica com precisão de 0,001 gramas.

Os cálculos para a verificação da porosidade dos solos coletados foram efetuados de acordo com a equação a seguir:

$$PT = [(a - b) / a] \times 100$$

Onde:

PT: Porosidade Total (%)

a = Densidade de Partículas (g/cm^3)

b = Densidade do Solo (g/cm^3)

3.4.5 Textura do solo

Foram coletadas aproximadamente 200 gramas de solo, na profundidade de 0-20 cm nos sete pontos de cada uma das três áreas, com auxílio de um trado tipo sonda S60. Posteriormente foram encaminhadas as amostras para o laboratório de física do solo onde foram peneiradas em peneira de malha de 2 mm de diâmetro.

Após peneiramento, as amostras de cada ponto obtidas na profundidade analisada foram colocadas em Becker identificado e assim transferidas para estufa de secagem à temperatura de 105°C durante 24 horas.

Após secagem, as amostras, classificadas como terra fina seca em estufa (TFSE), foram colocadas em dessecador e posteriormente pesadas amostras de 10 g de TFSE de cada ponto de cada área e colocadas em copo metálico do agitador tipo Hamilton Beach e adicionados 10 ml de solução de NaOH 1 mol/L, adicionando uma pequena quantidade de água destilada e deixando em repouso por um período de 15 minutos. Em seguida, foi completado o volume dos copos metálicos com água destilada até 2/3 da marca.

Decorrido o tempo, as amostras foram submetidos à agitação rápida em agitador tipo Hamilton Beach, com rotação de 6000 rpm durante 20 minutos. Após o término da agitação, a mistura foi cuidadosamente peneirada em uma peneira com malha de 0,53 mm de diâmetro e a mistura resultante desse processo colocada em proveta de 500 ml, com auxílio de um funil. Após lavagem com água destilada, restou na peneira somente as partículas de areia que foram colocadas em Becker identificado e com peso já determinado.

Em seguida, foi determinada a temperatura do líquido presente na proveta no momento da análise com auxílio de um termômetro. O tempo de sedimentação foi calculado segundo a Lei de Stokes, citado pela EMBRAPA (2011).

Passado o tempo de sedimentação, foi introduzida na proveta uma pipeta graduada em profundidade de 0,05 cm, coletando-se cuidadosamente 10 ml do sobrenadante, que foi colocado em Becker identificado e com peso determinado.

As amostras foram então, levadas à estufa a temperatura de 105°C por 24 horas. Após secagem e resfriamento, as amostras foram pesadas e os dados obtidos foram utilizados para o cálculo da porcentagem de areia, silte e argila presentes em cada uma das amostras.

Para a determinação da quantidade do reagente utilizado, foi necessário estabelecer uma proporção, onde: Para a quantidade total de 1000 ml do reagente, são utilizados 40 gramas de NaOH 1 mol/L para sua formulação e assim, para 10 ml do reagente, encontram-se 0,4 gramas de NaOH.

O Cálculo da quantidade de NaOH presente em 10 ml de sobrenadante presente na proveta, é determinada da seguinte maneira: 500 ml presentes na proveta, encontram-se 0,4 gramas de NaOH e na quantidade de 10 ml pipetados, encontram-se 0,008 gramas do reagente NaOH.

Para obtenção de percentuais de Areia, foram utilizados os seguintes cálculos:

$$PA = (PBA - PBV) \times 10$$

Onde:

PA: Porcentual de Areia (%)

PBA: Peso do Becker contendo Areia (g)

PBV: Peso do Becker Vazio (g)

Para obtenção do silte e da argila, foram utilizadas as seguintes equações:

$$MArg = ((PBS - PBV) - NaOH)$$

Onde:

MArg: Massa de Argila (g);

PBS: Peso do Becker com Solo (g);

PBV: Peso do Becker Vazio (g)

NaOH: 0,008 gramas

O valor encontrado representam 10 ml do sobrenadante pipetado, devendo ser multiplicado pelo volume da proveta (500 ml) e dividido por 10, para encontrar o valor real da amostra de Argila presentes na amostra.

Em seguida, para determinação do porcentual de Argila presentes nas amostras, foi utilizada a seguinte equação:

$$\mathbf{PArg (\%) = MArg \times 10}$$

Onde:

PArg: Porcentagem de Argila (%);

MArg: Massa de Argila (g)

Para determinação do Silte, foram subtraídos os valores de porcentagem encontrados entre a Areia e a Argila, explicados na equação a seguir:

$$\mathbf{PS (\%) = (100\% - PA - PArg)}$$

Onde:

PS: Porcentagem de Silte (%);

PA: Porcentagem de Areia (%);

PArg: Porcentagem de Argila (%)

Após finalização dos cálculos, os tipos de classes texturais das amostras foram indicados em função dos cruzamentos das porcentagens de areia, silte e argila, utilizando do triângulo textural adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS):

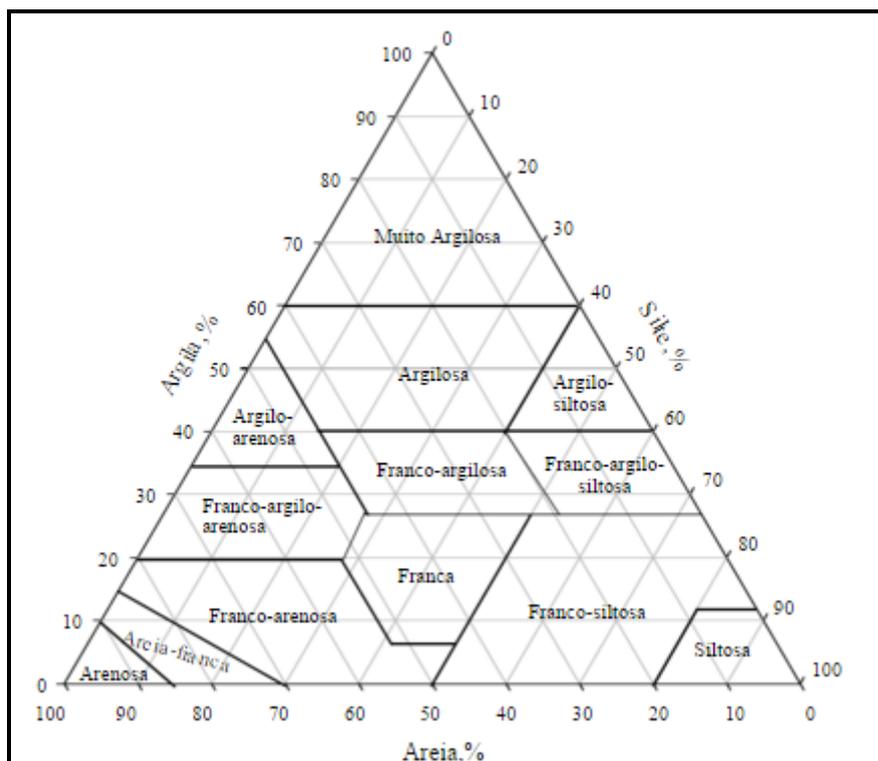


Figura 2. Triângulo de classificação textural, adotado pela SBCS (LEMOS; SANTOS, 1984).

3.4.6. Resistência à penetração

Para a análise de resistência a penetração o equipamento utilizado foi o penetrômetro de impacto de ponta cônica, com ângulo de cone de 30°, coletando-se na área estudada, sete repetições para cada área e em cada ponto foram realizadas três leituras, totalizando 21 batidas para cada área e um total de 63 batidas nas três áreas. Após os cálculos, as médias dos pontos geraram um gráfico contendo as faixas de profundidades. O número de batidas com o equipamento foi variado de acordo com a velocidade que houve a penetração no solo, onde valores discrepantes foram descartados, sendo refeitas as batidas.

O número de impactos no equipamento variou entre uma e até quatro batidas, determinando-se assim a profundidade em centímetros e posteriormente convertendo os impactos para kgf/cm² e depois para MPa (Mega Pascal), utilizando-se as equações 1 e 2:

$$\text{Equação 1. Kg/cm}^2 = 5,6 + 6,89 \times N$$

Onde:

$N = \text{Número de impactos} / (\text{profundidade (cm)} / 10)$

$$\text{Equação 2. MPa} = 0,0980665 \times \text{Kgf/cm}^2$$

Os dados obtidos foram em seguida equalizados através do programa de manipulação de dados em Excel-VBA (STOLF, 2011).

3.5. Análise dos dados

Os resultados foram submetidos à análise de variância, e a comparação de médias feita pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade, usando o software Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Densidade de partículas

Os valores encontrados para a densidade de partículas foram determinados por meio do método do balão volumétrico nas três áreas analisadas, apresentando-se os resultados obtidos na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados encontrados da Densidade de Partículas (DP) para os solos de três áreas do setor de Agroecologia e Produção Orgânica. IFSULDEMINAS – *Campus Inconfidentes*. Inconfidentes – MG. 2016.

Profundidade (0-20 cm)	Médias	DP (g/cm ³)
Área A	2,5797a	2,58
Área B	2,5366a	2,54
Área C	2,5604a	2,56

Os três resultados não obtiveram valores com diferenças significativas, mostrando que a Densidade de Partículas presentes nas áreas é semelhante. Os valores se apresentam abaixo dos que geralmente são encontrados em solos minerais, que segundo Ferreira (2010) se apresenta em torno de 2,65 g/cm³, sendo constituídos de minerais leves.

Segundo Reinert e Reichert (2006), esses fatores podem ser influenciados pela presença de matéria orgânica presentes nas camadas superiores, onde auxiliam na redução da Densidade de Partículas.

Como o método de cultivo orgânico preza pela conservação da matéria orgânica nos solos, os resultados apresentaram esperados para a Densidade de Partículas, pois de acordo com a literatura, tendem a diminuir com a presença matéria orgânica, que atua como agente cimentante dos minerais presentes no solo.

A Área A apresentou leve diferença sobre as demais, com resultado para Densidade de Partícula de 2,58 g/cm³, enquanto que para a Área B apresentou 2,54 g/cm³ e

para a Área C, 2,56 g/cm³. Essa diferença não significativa pode estar relacionada com a declividade do terreno, onde na parte inferior concentra maior porcentagem de matéria orgânica.

4.2. Densidade do solo

Para a determinação dos resultados de densidade do solo, foi utilizado o método do anel volumétrico descrito pela Embrapa (2011), onde foram encontrados os seguintes valores apresentados na Tabela 2:

Tabela 2. Resultados encontrados da Densidade do Solo (DS) para os solos de três áreas do setor de Agroecologia e Produção Orgânica. IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes. Inconfidentes – MG, 2016.

Profundidade (cm)	Densidade ¹ Área A (g.cm ⁻¹)	Densidade Área B (g.cm ⁻¹)	Densidade Área C (g.cm ⁻¹)
0-10	1,2968A	1,4134A	1,2988A
10-20	1,3459A	1,3883A	1,3954A
20-30	1,4242A	1,5010A	1,4877A
30-40	1,3815A	1,4765A	1,4484A

¹Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Scott e Knott.

Os resultados obtidos para a densidade do solo, não diferiram estatisticamente para as três áreas analisadas, apresentando valores semelhantes para as quatro profundidades.

Segundo Reinert e Reichert (2006), os valores normais encontrados para solos arenosos, podem variar de 1,2 a 1,9 g/cm³, enquanto que para solos argilosos podem apresentar valores inferiores, entre 0,9 a 1,7 g/cm³. Com os valores obtidos e analisando a textura do solo presente, onde foi encontrada alta taxa de areia nas três áreas, os resultados enquadram-se nos valores descritos pelos autores.

A densidade do solo apresentou valores maiores nas camadas mais profundas (20-30 cm e 30-40 cm), devido ao aumento do peso exercido pelas camadas superiores, pela

eluviação dos minerais de argila para essas camadas mais profundas, causando a diminuição da porosidade e/ou pelo manejo do solo para o plantio das culturas, nas camadas de 0-20 cm.

A porosidade e a densidade do solo são fortemente ligadas, sendo diretamente relacionadas com a compactação dos solos. Valores elevados tendem a prejudicar o crescimento de plantas, pois geram impedimento mecânico que dificultam a penetração das raízes. Entre os autores, para a densidade do solo não há um nível a ser considerado compactado, pois várias características do solo podem interferir na sua densidade, como por exemplo, a textura desse solo e também os teores de argila.

Segundo Reichert et al. (2003), consideram como densidade do solo ruim 1,55 g/cm³ para solos de textura média, podendo afetar o desenvolvimento do sistema radicular. Como os valores obtidos nas três áreas apresentam-se abaixo desses valores, para esse parâmetro as áreas apresentam boa densidade do solo.

Para Richart et al. (2005), solos de textura média, apresentando densidade do solo de 1,2 g/cm³, favorecem as raízes em seu crescimento, esses valores se comparam a níveis de densidade do solo manejadas com implementos agrícolas. Os resultados obtidos nas áreas A e C para a profundidade de 0-10 cm apresentaram-se nessa faixa, indicando bons resultados para o desenvolvimento de raízes das plantas, permitindo que as raízes possam explorar melhor o solo a procura de nutrientes.

4.3. Umidade gravimétrica

Utilizando do método descrito pela Embrapa (2011), para a determinação da Umidade Gravimétrica por diferença de massa úmida e massa seca, foram encontrados os valores apresentados na Tabela 3.

Para a umidade gravimétrica (Tabela 3), houve pequenas diferenças na profundidade de 0-10 cm, onde a área A indicou 21,15% e área B 20,63% em relação à área C, com 17,80%. Na profundidade de 10-20 cm os resultados apresentaram-se semelhantes com a primeira camada, mostrando pequena diferença em relação à área C, onde para a área A, indicou 23,36% e área B com 22,24% e a área C, apresentando 18,87% de umidade.

Tabela 3. Resultados encontrados da Umidade Gravimétrica (UG) para os solos de três áreas do setor de Agroecologia e Produção Orgânica. IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes. Inconfidentes - MG, 2016.

Profundidade (cm)	Umidade¹ Gravimétrica Área A (%)	Umidade¹ Gravimétrica Área B (%)	Umidade¹ Gravimétrica Área C (%)
0-10	21,15A	20,63A	17,80B
10-20	23,36A	22,24A	18,87B
20-30	22,83A	20,51B	19,46B
30-40	22,30A	19,90A	20,67A

¹Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Scott e Knott.

Para as áreas A e B que se encontram na camada de 20-30 cm, apresentaram pequenas diferenças na umidade, comparadas com a área C que está localizada na parte mais íngreme do terreno. Já para as profundidades de 30-40 cm, não diferiram estatisticamente, indicando valores semelhantes para as três áreas (Tabela 3).

Segundo Mion et al. (2012), a umidade gravimétrica e a porosidade total exercendo maiores influências no solo, tendem a diminuir a resistência à penetração. As densidades do solo, de acordo com os dados obtidos, para as camadas superiores, indicam baixa compactação e a porosidade indica grande presença de poros, o que favorece a retenção de água nesses solos. A água presente no solo é também dependente para a sua disposição de outros fatores, destacando a textura do solo, estrutura e o clima. Analisando para essas camadas onde se encontram a maiores proporções de raízes, a umidade expressou valores favoráveis para o crescimento e desenvolvimento das culturas.

Para Bottega et al. (2011), a proporção de água presente no solo, relaciona-se estreitamente com a resistência à penetração do solo, onde qualquer mudança gerada na compactação desses solos podem alterar os valores de umidade. Diante dos bons valores de resistência à penetração, densidade do solo e da classe textural encontrada, a umidade determinada apresentaram valores satisfatórios em relação a sua disponibilidade nessas três áreas.

4.4. Porosidade total

A Porosidade Total foi determinada por meio do método descrito pela Embrapa (2011), utilizando os valores da Densidade de Partículas e a Densidade do Solo para a sua determinação. Os valores são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados encontrados da Porosidade Total (PT) para os solos de três áreas do setor de Agroecologia e Produção Orgânica. IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes. Inconfidentes – MG, 2016.

Profundidade (cm)	Porosidade Total ¹ Área A (%)	Porosidade Total Área B (%)	Porosidade Total Área C (%)
0-10	49,71A	44,27B	49,32A
10-20	47,80A	45,26A	45,50A

¹Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Scott e Knott.

As áreas A e C apresentaram melhores valores de Porosidade Total para a profundidade de 0-10 cm e para a profundidade de 10-20 cm não apresentaram diferenças significativas. Comparando as duas profundidades na tabela 4, a camada superficial apresentou maior porcentagem de poros, podendo estar relacionado com as práticas de manejo do solo desenvolvidas para o plantio das culturas implantadas nas áreas.

Para Novak et al. (1992), a compactação dos solos está diretamente ligada com a porosidade, podendo sofrer grandes alterações quando a porosidade se encontram em baixos níveis. Segundo Kiehl (1979), para um solo apresentar características desejadas de porosidade, deve possuir cerca de 50% do seu volume ocupado por poros. Andrade e Stone (2009), afirmam que, para um solo ser considerado ideal para cultivo e para melhores produções agrícolas, esses devem apresentar porosidade total em torno de 50%.

Os valores encontrados para a porosidade (Tabela 4) nas três áreas e também nas duas profundidades se encontram próximos a 50%, indicando que o solo nessas áreas apresenta boa porosidade total. Nas áreas A e C nas profundidades de 0-10 cm foram as que mais se aproximaram dos valores, que segundo os autores, apresentam melhores resultados para a produção agrícola.

Para Ferreira et al. (2000), a porosidade é melhorada através de plantio de plantas de cobertura. Como as áreas analisadas se encontram em sistema de cultivo orgânico, onde

prezam pela proteção dos solos a fim de evitar erosão e compactação, há ligação com os bons resultados encontrados.

4.5. Textura do solo

A Textura do Solo foi determinada pelo método da pipeta, descrito pela Embrapa (2011), onde os valores de Areia, Silte e Argila foram determinados e em seguida encontrados a porcentagem e a classe textural de cada uma das áreas de acordo com a determinação da SBCS. Os valores obtidos estão expressos na Tabela 5.

Tabela 5. Valores absolutos e teores de argila, silte e argila e classe textural para os solos de três áreas do setor de Agroecologia e Produção Orgânica. IFSULDEMINAS - *Campus* Inconfidentes. Inconfidentes – MG, 2016.

Profundidade (0-20 cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe Textural
Área A	50,24a	23,52b	26,71a	Franco-argilo-arenosa
Área B	50,83a	24,35b	25,93a	Franco-argilo-arenosa
Área C	52,51a	28,16a	24,36b	Franco-argilo-arenosa

¹Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Scott e Knott.

Nas três áreas de acordo com a tabela 5, apresentaram em suas granulometrias, teores de areia em torno de 50%, não havendo diferenças significativas. Para os teores de silte e argila nas áreas A (23,52% de silte e 26,71% de argila) e na área B (24,35% de silte e 25,93% de argila) diferiram estatisticamente da área C, onde essa apresentou teor de silte de 28,16%, sendo essa superior às demais áreas e argila com teor de 24,36%, sendo inferiores as demais.

Foram observados para as áreas A, B e C (Tabela 5), em relação a sua a classificação textural, como sendo Franco-argilo-arenosa, característica essa de solos de textura média.

Responsável por definir nos poros do solo o diâmetro em função de sua distribuição, a textura do solo de acordo com os teores de argila, determinam a área de contato entre a água e as partículas sólidas, assim sendo um meio responsável pela absorção de água nos solos (REICHARDT, 1987).

Os solos franco-argilo-arenosos apresentam quantidades superiores de areia em sua granulometria em relação aos teores de silte e argila, características ideais para as plantas que necessitam de uma boa drenagem (KITAMURA, 2004; ARAÚJO et al., 2003). Porém, apresentam grande capacidade de perda de água, sendo necessárias práticas que permitam a manutenção da umidade dos solos, como por exemplo, a cobertura com palhada, adição de matéria orgânica e diminuição da exposição dos solos ao tempo, práticas essas comuns na agricultura orgânica (ALCÂNTARA e MADEIRA, 2008).

Solos com textura de areia superior necessitam de adição de matéria orgânica, que são responsáveis por preencherem os espaços vazios entre as partículas de areia, facilitando assim a retenção de nutrientes e água no solo.

.Os resultados apresentaram pequenas diferenças nas três áreas em seus valores, um fator que pode ser relacionado a essas desigualdades se trata da topografia do terreno. Souza et al. (2003), verificaram que em determinadas áreas, houve diferenças nos teores de areia, silte e argila devido a sua toposequência. Essa variabilidade espacial está ligada pelos percursos da água que escoam pela superfície, alterando os teores das partículas nesses solos.

4.6. Resistência à penetração

As classificações da resistência à penetração para as diferentes profundidades seguem de acordo com a Tabela 6, proposta pela Soil Survey Staff (1993), onde apresentam as definições para cada resistência encontrada em MegaPascal (Tabela 6).

Essa tabela mostra as diferentes classes, onde de acordo com a sua resistência em MPa, indica como o solo da área analisada está apresentando sua compactação. A tabela é dividida em sete classificações, apresentando desde a classificação de Extremamente Baixa até a Extremamente Alta.

Tabela 6. Classificação de um solo em função da resistência à penetração.

Classificação ⁽¹⁾	Resistência (MPa)
Extremamente baixa	< 0,01
Muito baixa	0,01 – 0,1
Baixa	0,1 – 1,0
Moderada	1,0 – 2,0
Alta	2,0 – 4,0
Muito Alta	4,0 – 8,0
Extremamente Alta	> 8

⁽¹⁾ Adaptado de Soil Survey Staff (1993).

Os gráficos a seguir, mostram as médias das sete repetições para cada uma das três áreas analisadas, expressando a resistência à penetração em profundidades de 0 cm até 40 cm.

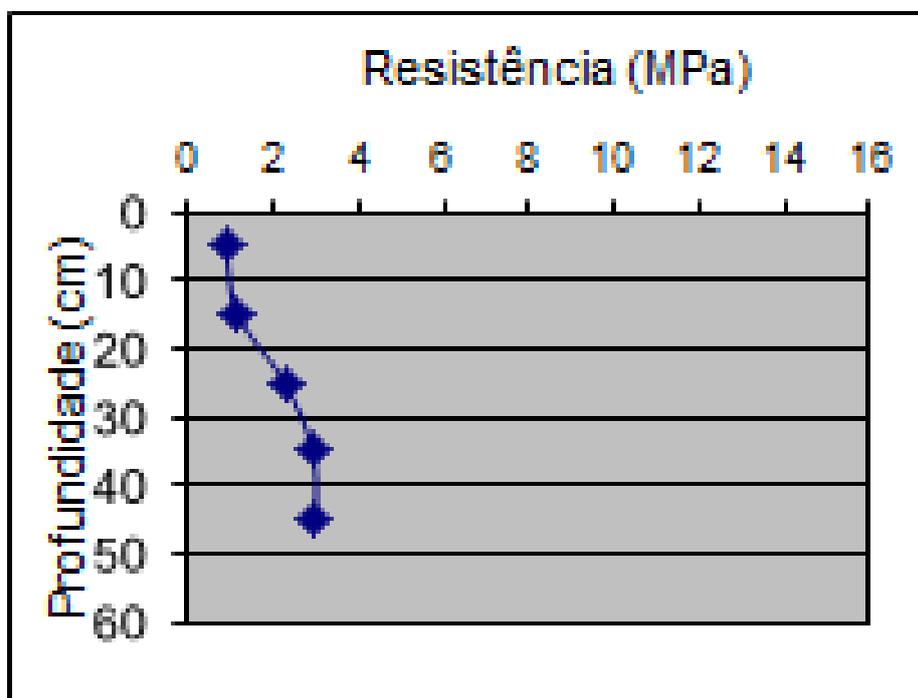


Gráfico 1. Representação gráfica da Resistência à Penetração do solo da Área A.

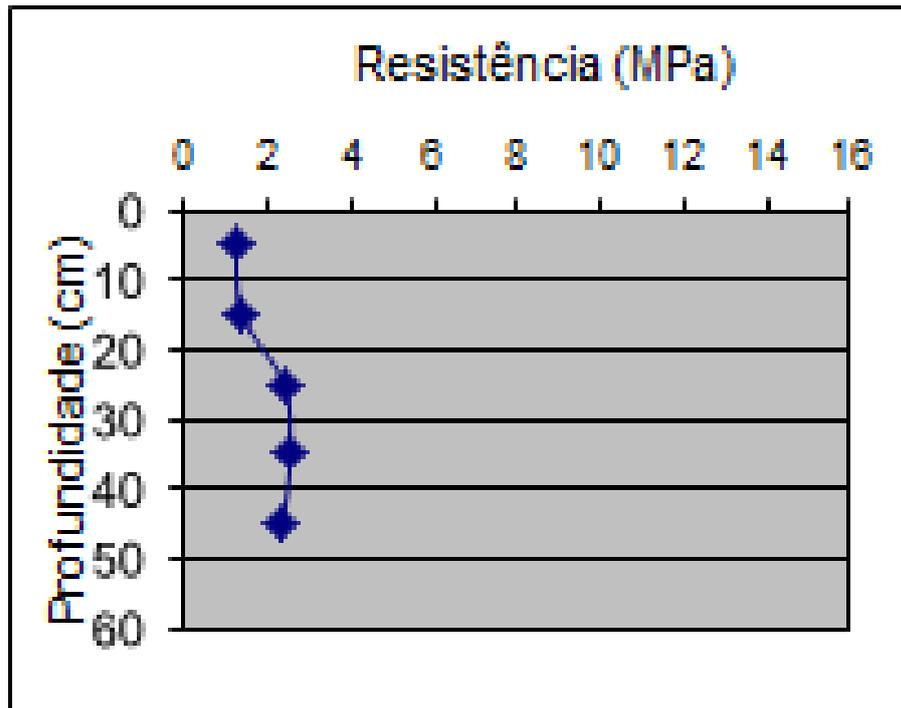


Gráfico 2. Representação gráfica da Resistência à Penetração do solo da Área B.

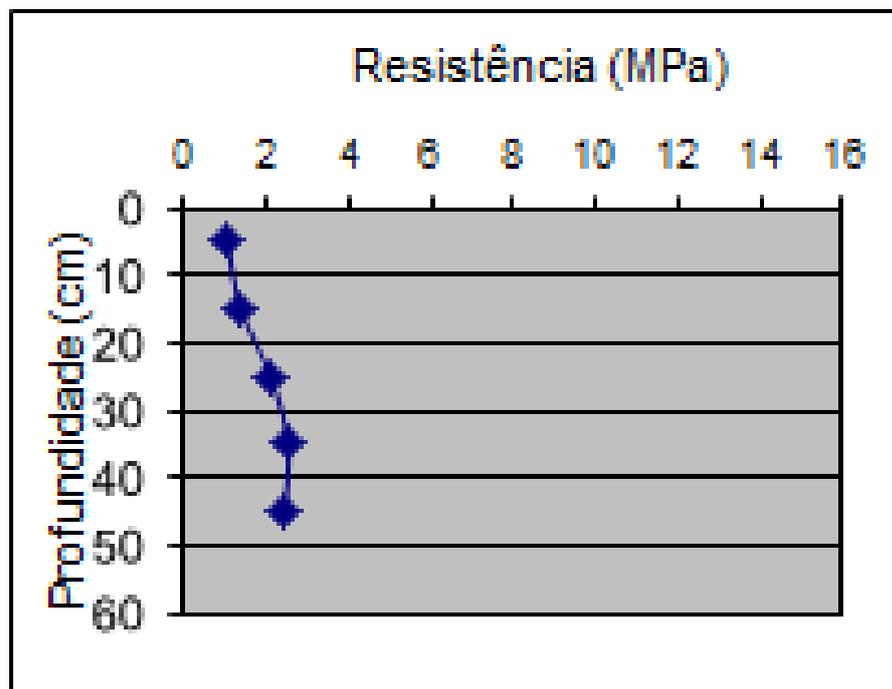


Gráfico 3. Representação gráfica da Resistência à Penetração do solo da Área C.

Os gráficos apresentaram resultados semelhantes para as três áreas analisadas, indicando baixa resistência à penetração na camada de 0-10 cm para as áreas A e C. Há um

indicativo que a área B tenha maior Resistência à Penetração, onde as médias indicaram resistência moderada de acordo com a tabela 6, nessa faixa de solo.

Para a camada de 10-20 cm, indicou resistência moderada para as três áreas. Já para as camadas mais profundas de 20-30 cm e 30-40 cm, indicou elevação na taxa de compactação dos solos para as três áreas, apresentando alta resistência (tabela 6). Segundo Arshad et al. (1996), citado por Benedetti (2010) os limites críticos que impedem o crescimento das raízes estão entre os valores de 2,0 a 4,0 MPa.

Os solos das três áreas receberam recentemente tratamentos culturais para o plantio de feijão, essas camadas superficiais indicaram níveis inferiores de resistência, informando que para o desenvolvimento de raízes nessas camadas apresentaram boas condições. Por se tratar de uma área de cultivo orgânico, com baixo emprego de maquinário pesado, acredita-se que o fato esteja relacionado, pois evitando esses equipamentos continuamente, há melhorias na resistência desses solos, proporcionando a baixa compactação.

Para as camadas inferiores, abaixo de 20 cm, apontou maiores taxas de compactação, pois nessas faixas de solo, não houve modificações por tratamentos culturais, podendo ser causado essa maior resistência pelas características físicas do próprio solo e/ou por haver a formação do pé de grade nessas camadas.

Segundo Tormena et al. (2002), a resistência à penetração atua juntamente com os resultados da umidade e também com a densidade presente no solo, fornecendo em parâmetros físicos, condições necessárias para o desenvolvimento e crescimento das raízes. De acordo com Rosa (2009), a compactação causa a diminuição do volume dos poros, prejudicando a aeração e respectivamente o desenvolvimento radicular.

A área em estudo apresentou resultados para resistência à penetração favorável ao manejo do solo. E esse parâmetro está intimamente ligado com os teores de densidade do solo, que apresentaram valores ideais de poros e também para a umidade. A camada superficial em que as plantas absorvem água e nutrientes quando se encontram em níveis de compactação adequados, proporcionam condições desejadas para uma melhor produção das culturas.

5. CONCLUSÕES

- A Densidade de Partículas apresentou teores normalmente encontrados para solos de textura média.
- A Densidade do Solo não apresentou níveis de compactação nas camadas superficiais do solo.
- A Umidade Gravimétrica da área C apresentou teores inferiores.
- A Porosidade Total apresentou porcentagens de poros nas camadas superiores ideais ao cultivo.
- A Classe textural encontrada para as três áreas foi a franco-argilo-arenosa.
- Nas camadas de 20-40 cm apresentaram alta resistência à penetração.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, F.A.; MADEIRA, N. R. **Manejo do solo no sistema de produção orgânico de hortaliças**. ISSN 1415-3033. Brasília, DF Julho, 2008. (EMBRAPA Hortaliças, Circular Técnica, 64).

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, V.13, n.4, p.382-388, 2009.

ARAÚJO, A. E. SILVA, C.A.D.; AZEVEDO, D.M.P.; FREIRE, E.C.; RAMALHO, F.S.; ANDRADE, F.P.; FERREIRA, G.B.; SANTANA, J.C.F.; AMARAL, J.A.B.; MEDEIROS, J.C.; BEZERRA, J.R.C.; PEREIRA, J.R.; SILVA, K.L.; SILVA, L.C.; BARROS, M.A.L.; CARVALHO, M.C.S.; LUZ, M.J.S.; BELTRÃO, N.E.M.; SUASSUNA, N.D.; FERREIRA, P.F.; SANTOS, R.F.; FONSECA, R.G. **Cultivo do algodão irrigado**. Campina Grande: Embrapa, 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrigad>

ARAÚJO, A.; MONTEIRO, R.; **Indicadores Biológicos da Qualidade do Solo**. Uberlândia. v. 23. nº3. p. 66-75. 2007.

AZAMBUJA, J. M. V. **O solo e o clima na produtividade agrícola**. Guaíba: Agropecuária, 1996. 164 p.

AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D. **Solos e Ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Ed. Pallotti, 2004.

BENEDETTI, M. M.; DUARTE, I. N.; MELO JÚNIOR, H. B.; BORGES, E. N. Resistência do solo à penetração em um latossolo vermelho distrófico típico sob diferentes usos. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.6, n.11, 2010.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa. UFV. 2006. 625p.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; SILVA, L.M. Utilização dos penetrômetros de impacto e de anel dinamométrico em latossolos. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n.2, p. 191-199, maio 2002.

BOTTEGA, E.L.; BOTTEGA, S.P.; SILVA, S.A.; QUEIROZ, D.M.; SOUZA, C.M.A.; RAFULL, L.Z.L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.2, p. 331-336, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Meteorologia. **Normas climatológicas. 1961 – 1990**. Brasília, 1992.84 p.

CAMARGO, O. A. Compactação do solo e desenvolvimento de plantas. **Campinas: Fundação Cargil**, 1983. 44 p.

CANELLAS, L.P.; 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 palhço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.935-944, 2003.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F., PEREIRA, H.S. & AZEVEDO, W.C. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.33, p.147-157, 2009.

COSTA, A.M.; SOUZA, M.A.S.; SILVA JUNIOR, A.M.; FALQUETO, R.J.; BORGES, E.N. Influência da cobertura vegetal na densidade de três solos do cerrado. In: **Anais... II Simpósio Regional de Geografia**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia – MG. 2003.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.323-332, 2008.

CURI, N. (Coord.). Vocabulário de ciência do solo. **Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1993. 90p.

DIAS JUNIOR, M. S. Compactação do solo. In: **Tópicos de Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.55-94, 2000.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C., BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). In: **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: **Soil Science Society of America/American Society of Agronomy**, 1994. cap. 1, p. 3-21. (SSSA Special Publication, 35).

DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. Soil health and sustainability. In: SPARKS, D.L. (Org.) **Advances in Agronomy**. San Diego: Academic Press, 1996. p. 1-54.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manejo do solo no sistema de produção orgânico de hortaliças**. 1. ed. Brasília: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2008. 12 p. Disponível em: <http://www.cnph.embrapa.br/organica/pdf/circular_tecnica/manejo_solo_organica.pdf>. Acesso em 15 de fevereiro de 2016.

EMBRAPA. **Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Métodos de Análise de Solo**; 2.ed. Dados eletrônicos; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2011. 230p.

FAO. **Agroclimatological data for Latin América and Caribbean**. Roma, 1985. (Coleção FAO: Produção e Proteção Vegetal, v. 24).

FERREIRA, D.F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia** [online]. 2014, vol.38, n.2 [citado 2015-10-17], pp. 109-112. Disponível em: ISSN 1413-7054. <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542014000200001&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 01 de março de 2016.

FERREIRA, M.M. Caracterização física do solo. In: JONG van LIER, Q., ed. Física do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2010. p.1-28.

FERREIRA, T.N.; SCHWARZ, R.A.; STRECK, E.V. **Solos: manejo integrado e ecológico – elementos básicos**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2000. 95p.

FORSYTHE, W. **Física de suelos**. Costa Rica: IICA, 1975. 212p.

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

GOOGLE. **Google Earth Pro**. Version 7.1.5.1557. 2016. Inconfidentes - MG. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>>. Acesso em: 28 de março de 2016.

HILLEL, D. **Solo e água: fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970. 231p.

KARLEN, D.L.; ANDREWS, S.S.; DORAN, J.W. Soil quality: Current concepts and applications. *Adv. Agronomy*, San Diego, v.74, p.1-40, 2001.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.61, n.1, p.4-10, 1997.

KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia – relações solo – planta**. São Paulo: Ed. Agronômica “CERES”, LTDA, 1979.

KITAMURA, A.E. **Inter-relações da Variabilidade Espacial da Granulometria do Solo e a Produtividade do Feijoeiro Sob Plantio Direto**, Ilha Solteira, 2004, 109 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. Disponível para download em: <<http://acervodigital.unesp.br/handle/unesp/175348>>. Acesso em: 01 de abril de 2016.

KLAR, A.E. **Água no sistema solo água planta**. São Paulo: Nobel, 1984.

LEMOES, R.C.; SANTOS, R.D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2ed. Campinas: SBCS/SNLCS, 1984. 45p.

LERPSCH, I. F.; ESPINDOLA, C.R.; VISCHI FILHO, O.J.; HERNANI, L.C.; SIQUEIRA, D.S. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação do solo de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175 p.

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

LIBARDI, P.L. **Medidas de umidade e armazenagem na determinação do balanço hídrico**. In. XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Recife, Anais. 2005.

LIMA, H.V.; OLIVEIRA, T.S.; OLIVEIRA, M.M.; MENDONÇA, E.S.; LIMA, P.J.B.F. Indicadores de Qualidade do Solo em Sistemas de Cultivo Orgânico e Convencional no Semi-Árido Cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.5, p.1085-1098 Viçosa, Out 2007.

MELLONI, R. **Quantificação microbiana da qualidade do solo**. Microbiota dos solos e a Qualidade Ambiental. 2007.

MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B.D. **Microrganismos e seu uso como bioindicadores em sistemas de plantio direto e convencional - Parte II**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/191/>>. Acesso em 11 de fevereiro de 2016.

MERCANTE, E.; OPAZO, M.A.U.; SOUZA, E.G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.6, p.1149-1159, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n6/19209.pdf>>. Acesso em 22 de fevereiro de 2016.

MIGUEL, P. **Caracterização pedológica, uso da terra e modelagem da perda de solo em áreas de encosta do rebordo do planalto do RS**. 2010. 112 f. Mestre em Ciência do Solo (Mestrado) - Universidade Federal De Santa Maria Centro De Ciências Rurais Programa De Pós-graduação Em Ciência Do Solo Caracterização, Santa Maria, 2010. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/ppgcs/disserta%E7%F5es%20e%20teses/DISSERTA%C7%C3O%2>>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2016.

MION, R.L.; NASCIMENTO, E.M.S.; SALES, F.A.L.; SILVA, S.F.; DUARTE, J.M.L.; SOUSA, B.M. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo amarelo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.6, p.2057-2066, nov./dez. 2012. Disponível para download em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/7907>>. Acesso em: 02 de março de 2016.

MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

NOVAK, L.R.; MONTOVANI, E.C.; MARTYN, P.J.; FERNANDES, B. Efeito do tráfego de trator e da pressão de contato pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro Álico, em dois níveis de umidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, p.1587- 1595. 1992. <[o/solos.htm](http://www.scielo.br/pab/o/solos.htm)>. Acesso em 12 de fevereiro de 2016.

PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo: A agricultura em regiões tropicais**. 9. ed. São Paulo. Nobel. 2002.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1609-1623, 2007.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista de Ciência Ambiental**, v 27, p. 29- 48, 2003.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: **Tópicos de Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.49-134, 2007.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; SUZUKI, L.E.A.S.; HORN, R. Mecânica do Solo. In: **VAN LIER, Q, J. Física do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 29-102.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria - Centro de Ciências Rurais. Santa Maria, Maio de 2006. Disponível para Download em: <https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo__texto.pdf>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2016.

RICHARDT, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação de solo: Causas e efeitos. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

ROSA, D. P. **Relação solo-máquina-planta num argissolo cultivado e sob campo nativo**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria Centro de Ciências Rurais Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. Disponível em: <http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/David_Rosa_Tese.pdf>. Acesso em 28 de março de 2016.

SANTOS, R.D; LEMOS R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 53 ed. revista e ampliada Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência de Solo**, 2005. 100p.

SCHAEFER, C.E.R.; SILVA, D.D.; PAIVA, K.W.N.; PRUSKI, F.F.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; ALBUQUERQUE, M.A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.5, p.669-678, 2002.

SILVA, V.R.; REICHERT J.M.; REINERT D.J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 399-406, mar./abr. 2004.

SINNETT, D.; MORGAN, G.; WILLIAMS, M.; HUTCHINGS, T.R. Soil penetration resistance and tree root development. **Soil Use and Management**, v.24, p.273-280, 2008.

SKOTT, A.; KNOTT, M. Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. **Biometrics**, Washington D.C., v.30, n.3, p.507-512, 1974.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington, USDASCS. U.S. Gov. Print. Office, 1993. 437p. (Handbook, 18).

SOUZA, C.K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V; PEREIRA, G.T. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de um latossolo em Jaboticabal - SP. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.486-495, 2003.

SOUZA, J.L.; RESENDE, P. **Manual de horticultura orgânica**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2003. 564 p.

STOLF R. **Penetrômetro de Impacto Stolf- programa de manipulação de dados em Excel-VBA**. UFSCar, 2011.

TORMENA, C.A.; ARAUJO, M.A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S.; SILVA, A.P. Quantificação da resistência tênsil e da friabilidade de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.943-952, 2008.

TORMENA, C.A.; GONÇALVES, A.C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S. Densidade, Porosidade e Resistência à Penetração em Latossolo Cultivado sob Diferentes Sistemas de Preparo do Solo. **Scientia Agrícola**, v.59, n.4, p.795-801, out./dez. 2002.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.1, p.573-581, 1998.
TROEH, F.; THOMPSON, L.: **Solos e Fertilidade do Solo**. Editora Andrei. 2007.