



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

REGINALDO TAVARES DE MELO

USO DE SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA - PECUÁRIA NA
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS COMPACTADAS: RIACHO DOS CAVALOS – PB.

MOSSORÓ – RN

2011

REGINALDO TAVARES DE MELO

USO DE SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA - PECUÁRIA NA
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS COMPACTADAS: RIACHO DOS CAVALOS – PB.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós –
Graduação em Ciência do Solo da Universidade
Federal Rural do Semi-Árido, como parte das
exigências para obtenção do título de Mestre em
Ciência do Solo

ORIENTADOR:
Prof. Dr. JOAQUIM ODILON PEREIRA

MOSSORÓ – RN

2011

**Ficha catalográfica preparada pelo setor de classificação e
catalogação da Biblioteca “Orlando Teixeira” da UFRSA**

M528u Melo, Reginaldo Tavares de.

Uso de sistema de integração lavoura-pecuária na
recuperação de áreas compactadas: Riacho dos Cavalos-PB. /
Reginaldo Tavares de Melo. -- Mossoró, 2011.

61f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo / Área de
concentração: Manejo e Conservação do solo) – Universidade
Federal Rural do Semi-Árido. Pro – Reitoria de Pós –
Graduação.

Orientador: Prof^o. Dr. Joaquim Odilon Pereira.

1.Produtividade. 2.Sustentabilidade. 3.Rentabilidade.
I.Título.

CDD: 631.4

Bibliotecária: Marilene Santos de Araújo
CRB_5 1033

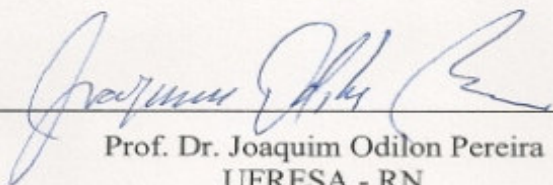
REGINALDO TAVARES DE MELO

USO DE SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA - PECUÁRIA NA
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS COMPACTADAS: RIACHO DOS CAVALOS – PB.

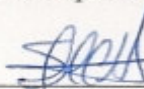
Dissertação apresentada ao Programa de Pós –
Graduação em Ciência do solo da
Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
como parte das exigências para obtenção do
título de Mestre em Ciência do Solo

Aprovada em: 25 / 08 / 2011

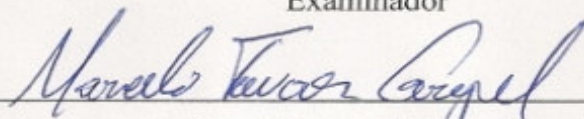
Banca examinadora:



Prof. Dr. Joaquim Odilon Pereira
UFERSA - RN
Orientador e presidente da banca



Prof. Dr. Suedêmio de Lima Silva
UFERSA - RN
Examinador



Prof. Dr. Marcelo Tavares Gurgel
UFERSA - RN
Examinador



Prof. Dr. Miguel Angel Uribe Opazo
UNIOESTE - PR
Examinador

A **Deus** nosso pai maior que sempre guiou meus passos, e me deu oportunidade de realizar mais uma importante etapa em minha vida.

Aos meus pais **Severino Tavares** e **Raimunda Noêmia**, pelos ensinamentos e exemplos de caráter e honestidade, e ao meu filho **José Henrique**, que são as pessoas mais importantes da minha vida.

A meus avós **Raimundo Anastácio** e **Noêmia Nautília**.

A todos os meus familiares e amigos que sempre torceram pelo meu sucesso.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à **Deus** que na sua infinita bondade me deu saúde, força e coragem para realizar esse trabalho.

Ao prof. **Dr. Joaquim Odilon Pereira**, pela orientação, ensinamentos, paciência, e confiança em meu trabalho.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores do Programa de Pós- Graduação em Ciência do Solo da UFRSA, que transmitiram seus conhecimentos, e a todos os funcionários desta instituição.

Ao professor **Dr. Suedêmio de Lima Silva** pela colaboração no desenvolvimento do trabalho.

A prof^a **Dr^a Jailma Suerda Silva de Lima**, pela grande ajuda na análise estatística.

Aos professores **Dr. Marcelo Tavares Gurgel** e **Dr. Miguel Angel Uribe Opazo**, que gentilmente aceitaram fazer parte da banca examinadora.

A todos os meus colegas de Pós - Graduação pela amizade e convívio durante o curso.

Ao meu grupo de pesquisa, **Claudinete, Danniely, Paulo**, e em especial **Herison Alves**, pela amizade, dedicação, esforço e sua imensa colaboração durante o desenvolvimento da pesquisa.

Aos professores e funcionários da UEPB, que deram suas contribuições para realização do trabalho.

A todos aqueles que de forma direta ou indireta me ajudam a chegar até aqui.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.	VIII
LISTA DE FIGURAS.	IX
RESUMO.	XI
ABSTRACT.	XII
1. INTRODUÇÃO.	13
2. REVISÃO DE LITERATURA.	15
2.1 Integração Lavoura – Pecuária (ILP).	15
2.2 Atributos físicos do solo.	17
2.2.1 Agregados do solo.	17
2.2.2 Densidade do solo.	18
2.2.3 Resistência Mecânica do Solo a Penetração.	20
2.2.4 Compactação do solo.	21
2.2.5 Porosidade do solo.	23
3. MATERIAL E MÉTODOS.	26
3.1 Caracterização da Área do Experimento.	26
3.2 Clima e Solo.	26
3.3 Preparo do solo e semeadura.	26
3.4 Instalação do experimento.	27
3.5 Determinação das características físicas do solo.	27
3.5.1 Análise granulométrica.	27
3.5.2 Densidade de partículas.	28
3.5.3 Densidade do solo.	29
3.5.4 Densidade de Agregados.	29
3.5.5 Matéria Orgânica.	30
3.5.6 Índice de vazios estrutural.	30
3.5.7 Índice de compressão do solo.	30
3.5.8 Resistência do solo a penetração.	31
3.6 Delineamento Experimental.	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.	33
4.1 Densidade de partículas.	33
4.2 Densidade do solo.	34

4.2.1 Densidade do solo cultivado com feijão e com milho.	34
4.3 Densidade de agregados.	35
4.3.1 Densidade de agregados da camada de 0,0 a 0,05 m.	35
4.3.2 Densidade de agregados da camada de 0,05 a 0,10 m.	37
4.3.3 Densidade de agregados da camada de 0,10 a 0,20 m.	39
4.4 Matéria orgânica do solo.	41
4.5 Índice de vazios estrutural do solo.	42
4.5.1 Índice de vazios estrutural do solo nas duas épocas.	42
4.5.2 Índice de vazios estrutural do solo cultivado com feijão e milho.	42
4.5.3 Índice de vazios estrutural do solo cultivado com feijão com densidades do solo de 1,0 e 1,31 g cm ⁻³ .	43
4.5.4 Índice de vazios estrutural do solo cultivado com milho com densidades do solo de 1,0 e 1,32 g cm ⁻³ .	44
4.7 Índice de compressão.	46
4.7.1 Índice de compressão do solo cultivado com feijão (A) e com milho (B) após pastagem e com duas densidades do solo.	46
4.8 Resistência do solo a penetração.	47
4.8.1 Resistência do solo a penetração no cultivo do feijão (A) e com milho (B).	47
5. CONCLUSÕES.	50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	51
APÊNDICE.	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas do solo, cultivado com feijão e milho (época 1).	28
Tabela 2. Valores médios de densidade de partículas obtidos nas camadas de 0,0 - 0,05; 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,20m de profundidade no solo com cultivo de milho e com feijão (épocas 1).	33
Tabela 3. Valores médios de densidade do solo nas camadas de 0,0 - 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,20 m de profundidade no solo com cultura de milho e feijão num sistema de integração lavoura-pecuária.	35
Tabela 4 Valores médios obtidos para matéria orgânica do solo, nas profundidades 0,0 – 0,05; 0,05 - 0,10 e 0,10 – 0,20m, (época 2).	41
Tabela 5. Valores médios de índice de vazios estrutural do solo para o período após o pastejo de bovinos (época 1) e após a instalação de cultura de milho e feijão (época 2).	42
Tabela 6 Valores médios do índice de vazios estrutural do solo nas profundidades de 0,0 - 0,05 m; 0,05 – 0,10 m; 0,10 – 0,20 m nos solos com cultura de milho e feijão num sistema de integração lavoura-pecuária.	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Trabalho de determinação da resistência mecânica do solo à penetração com o penetrógrafo FALKER PenetroLog – PLG1020.	31
Figura 2 Curva de densidade de agregados na camada de 0,0 a 0,05m do solo com cultivo de feijão e de milho.	36
Figura 3 Curva de densidade de agregados na camada de 0,05 a 0,10m do solo com cultivo de feijão e de milho.	38
Figura 4 Curva de densidade de agregados na camada de 0,10 a 0,20m do solo com cultivo de feijão e de milho.	40
Figura 5 Índice de vazios estrutural do solo cultivado com feijão com densidade de 1,0 (g.cm^{-3}) (A) e com densidade de 1,31 (B) (g cm^{-3}) após a pastagem.	44
Figura 6 Índice de vazios estrutural do solo cultivado com milho com densidade de 1,0 (A) e com densidade de 1,32 (B) (g cm^{-3}) após pastagem.	45
Figura 7 Índice de compressão dos solos cultivados com feijão com densidades do solo de 1,0 e 1,31 g cm^{-3} (A) e com milho, com densidades do solo de 1,0 e 1,32 g cm^{-3} (B) após pastagem.	47
Figura 8 Resistência mecânica do solo à penetração no cultivo do feijão, antes e após a cultura (A) e com milho, antes e após a cultura (B), (épocas 1 e 2).	49

LISTA DO APÊNDICE

Apêndice 01 – Resumo da análise de variância para densidade do solo com a cultura do milho.	61
Apêndice 02 – Resumo da análise de variância para densidade do solo com a cultura do feijão.	61
Apêndice 03 - Valores dos teores de água do solo no momento da determinação da resistência mecânica do solo à penetração, para o solo cultivado com feijão e milho antes e depois da implantação da cultura.	61

RESUMO

REGINALDO TAVARES DE MELO. Uso de sistema de integração lavoura - pecuária na recuperação de áreas compactadas: Riacho dos Cavalos – PB. Mossoró - RN, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2011. 61f. : il. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo. Orientador: Professor Dr. Joaquim Odilon Pereira.

A região semi-árida do nordeste brasileiro, além de apresentar poucos recursos, está sujeita a secas que seriamente afetam a produtividade de grãos e da pastagem. O uso de resíduos deixados pelas culturas, bem como a redução do sistema de preparo convencional do solo (aração e gradagem) são técnicas que podem melhorar a estrutura do solo. As evidências têm mostrado que os sistemas de produção agrícola, altamente mecanizados, têm sido influenciados pela compactação do solo. Isto pode ser determinado pela grande variação nas propriedades físicas do solo, tais como, densidade do solo, porosidade e relação tensão-deformação. O sistema de integração lavoura pecuária permite alternativas de rotações de culturas e sistemas de produção possibilitando, com isso, a intensificação do uso da terra, aumentando a sustentabilidade dos sistemas de produção e melhorando a rentabilidade por meio da introdução do cultivo de pastagens anuais. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do sistema de integração lavoura-pecuária em cultivo sequencial, sobre a estrutura do solo numa propriedade agrícola sob cultivo de milho e feijão, bem como avaliar o efeito das propriedades físicas e mecânicas do solo no sistema de produção agrícola. O experimento foi conduzido, em uma propriedade rural, utilizando o sistema de integração lavoura-pecuária, no Município de Riacho dos Cavalos-PB, localizada a 06°26'34" S e 37°39'03" W, com altitude de 200 m e precipitação pluviométrica anual de 850 mm. Os parâmetros de densidade do solo, densidade textural, índices de vazios estruturais e índice de compressão do solo e resistência do solo à penetração foram analisados na profundidade de 0,0 a 0,05 m, 0,05 a 0,10m e 0,10 a 0,20m. Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x3x3. Os resultados não evidenciaram diferenças significativas de densidade do solo entre o sistema lavoura-pecuária. O solo com pastejo após o cultivo de milho apresentou redução no índice de vazios estrutural. O índice de vazios estrutural diminuiu com o aumento do teor de água e da densidade do solo. As condições pluviométricas não permitiram a obtenção de produção de cultura.

Palavras-chave. Produtividade, sustentabilidade, rentabilidade

ABSTRACT

REGINALDO TAVARES DE MELO. **Use of the tilling - livestock integration system at the recuperation of the compacted grounds areas at Riacho dos Cavalos – PB.** Mossoró - RN, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2011. 61f. : il. Dissertation. Program of Post-Graduation in Soil Science. Advisor: Professor Joaquim Odilon Pereira.

The semi-arid region of the Brazilian northeast, besides presenting few resources, is subject to droughts that seriously affect the crop and the grazing productivity. The use of residues left by the cultures, as well as the reduction of the soil conventional cultivation system (plowing and harrowing) it is techniques that can improve the soil structure. The evidences have been showing that the agricultural production systems, highly mechanized, have been influenced by the soil compaction. This can be determined by the great variation in the physical properties of the soil, such as, bulk density, structural porosity and relation tension-deformation. The system of integration production crop-livestock allows alternatives of rotations of cultures and systems of production making possible, the intensification of the use of the land, increasing the sustainable agriculture production systems and improving the profitability through the introduction of the annual grazing. This project aimed to value the effect of the system of integration production crop-livestock cultivation sequential on the soil structure at an agricultural property under cultivation of corn and bean, as well as he valued the effect of the soil physical and mechanical properties at the agricultural production system. The experiment system was established at a agriculture property – Riacho dos Cavalos PB (06°26'34" S and 37°39'03" W) 200 m above the sea level and annual precipitation of 850 mm. The parameters of bulk density, textural density, structural void ratio and soil compression ratio and soil resistance penetration were analyzed in the depth from 0.0 to 0.05 m, 0.05 to 0.10 m and 0.10 to 0.20 m. The delineation in blocks at random was used in scheme factorial 2x3x3. The results did not show up significant differences of bulk density between the system crop-livestock. The soil with grazing after the cultivation of corn, it presented reduction in the structural void ratio. The structural void ratio decrease with the increase of the water content and with the increase of the bulk density. The climatic conditions did not allow getting production of culture.

Key-words: Productivity, sustainability, profitability.

1. INTRODUÇÃO

Integração Lavoura-Pecuária é a definição de sistemas produtivos de grãos, fibras, carne, leite, lã, e outros, realizados na mesma área, em plantio simultâneo, sequencial ou rotacionado, onde se objetiva maximizar a utilização dos ciclos biológicos das plantas, animais, e seus respectivos resíduos, aproveitar efeitos residuais de corretivos e fertilizantes, minimizar e otimizar a utilização de agroquímicos, aumentar a eficiência no uso de máquinas, equipamentos e mão-de-obra, gerar emprego e renda, melhorar as condições sociais no meio rural, diminuir impactos ao meio ambiente, visando à sustentabilidade (MACEDO, 2009). Com a globalização do mundo nos dias atuais, todas as atividades produtivas necessitam de práticas que possibilitem sua sustentabilidade. A integração de atividades que antes poderiam ser chamadas de concorrentes agora se interagem para se conseguir ganhos significativos em ambas.

A baixa produtividade das culturas está associada ao uso insustentável das terras, e as condições climáticas, que são mudam de uma região para outra. Além disso também ocorre a monocultura que, juntamente ao processo inadequado de preparo do solo trazem como consequência, a degradação do solo e do meio ambiente.

A integração agricultura-pecuária, aliada ao profissionalismo dos produtores que utilizam o sistema, tem proporcionado maior sustentabilidade na condução de lavouras e produção de animais, reduzindo impactos ambientais, proporcionando maior rentabilidade ao sistema e utilizando a área produtiva durante todo o ano.

Os sistemas de integração entre lavoura e pecuária têm potencial para aumentar a produtividade de grãos, carne, leite e derivados, e também de reduzir os riscos de degradação do meio ambiente. Os resultados obtidos com a implantação do sistema demonstram melhorias nas características físicas, químicas e biológicas do solo (BABINOT Jr. et al. 2009)

A Integração Lavoura-Pecuária, aliada a práticas conservacionistas como o Plantio Direto (PD), é uma alternativa econômica e sustentável para recuperar áreas degradadas, a exemplo de pastagens com baixa produção de forragens e lavouras com problemas de produtividade e sustentabilidade. Estudos técnico-científicos e experiências de produtores mostram que a implantação desse sistema resulta em importantes benefícios, tais como: Aumento da produção e da renda do setor agropecuário, com qualidade, segurança e competitividade, sem a incorporação de novas áreas via desmatamento; Recuperação da qualidade e da capacidade produtiva do solo; Redução da erosão do solo, do assoreamento

e da contaminação de nascentes, rios e reservatórios de água; Redução do uso de agrotóxicos e dos custos de produção; Disponibilidade de forragens no período das secas; Maior produção de palhada para o plantio direto; Aumento da eficiência no uso de máquinas, equipamentos e mão-de-obra. A região do semi – árido do Nordeste é carente de tecnologias que viabilizem a produção, uma vez, que esta região sofre com longos períodos de secas e o manejo incorreto do solo, por parte dos pequenos proprietários aumenta degradação do solo e, conseqüentemente, o meio ambiente. Na busca de alternativas para solução desses problemas que acontecem em nossa região, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do sistema de integração lavoura-pecuária em cultivo sequencial, sobre a estrutura do solo numa propriedade agrícola sob cultivo de milho e feijão, bem como avaliar o efeito das propriedades físicas e mecânicas do solo no sistema de produção agrícola.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Integração Lavoura – Pecuária

O sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) se constitui em sistema de produção que alterna, na mesma área, o cultivo de pastagens anuais ou perenes, destinadas à alimentação animal, e culturas destinadas à produção vegetal, e seus efeitos sobre a qualidade do solo e o rendimento animal e vegetal. A ILP pode proporcionar algumas vantagens para o produtor, tais como maior renda por área, maior diversificação de atividades, menor risco econômico e menor custo de produção.

Segundo Costa (2003), existem três tipos de sistema de integração lavoura pecuária a saber; **Santa Fé:** consiste em plantar uma cultura anual (soja, milho, arroz, etc.) consorciada com uma gramínea para pastejo (*Brachiaria decumbens* ou *Brachiaria brizantha* são as mais utilizadas pelos benefícios que ela traz, tais como uma boa palhada para o plantio direto); **Barreirão:** consiste também em plantar uma cultura anual consorciada com uma gramínea para pastejo, porém o plantio da lavoura é feito somente de quatro em quatro anos para a recuperação das pastagens degradadas onde é necessário corrigir o perfil do solo; **Cultivo sequencial (rotação):** esta modalidade de integração adota uma sequência de operações em que a lavoura e a pastagem ocupam uma mesma área, embora defasados no tempo. Após a colheita dos grãos, faz se o plantio de uma espécie forrageira anual para utilização em regime de corte ou pastejo e no ano seguinte, adota se o cultivo de grãos ou a implantação de uma pastagem perene.

De acordo com Kluthcouski (2003), a integração entre pasto, grãos e floresta é boa saída para reter carbono no solo ajudar a reduzir o efeito estufa. Diante do aquecimento global, agricultores podem, desde já, adotar práticas sustentáveis, que eliminem a emissão de gases do efeito estufa e que visem à conservação do solo. Plantio direto, curvas de nível contra erosão, integração lavoura-pecuária e sistema agrossilvipastoril - além da eliminação das queimadas e do desmatamento - são algumas práticas cuja tecnologia está dominada.

Por razões econômicas e/ou agronômicas, a exploração isolada da lavoura ou da pecuária tem apresentado, em média, sinais de insustentabilidade, com reflexos negativos também nos parâmetros sociais e ambientais. Neste contexto, na atual conjuntura econômica, tanto a competitividade como a sustentabilidade do setor estará cada vez mais

dependentes da redução nos custos de produção e da utilização intensiva das áreas agrícolas durante o ano todo. O sistema de integração lavoura-pecuária pode ser promissor para atender tanto as dificuldades da pecuária, como alternativa de recuperação de pastagens degradadas, como para a agricultura anual e o sistema de plantio direto, visando à produção de palha, melhoria das propriedades do solo e utilização plena de equipamentos, empregos e aumento de renda no campo. A integração lavoura-pecuária aparece como uma das estratégias mais promissoras para desenvolver sistemas de produção menos intensivos no uso de insumos e, por sua vez, mais sustentáveis no tempo (MACEDO, 2009).

O sistema ILP pode aumentar as concentrações de carbono orgânico no solo ao longo do tempo, devido ao crescimento contínuo de plantas na área, seja pastagem ou culturas para exploração vegetal, rotação de culturas, incremento da massa produzida por tempo em decorrência do pastejo e maior ciclagem de nutrientes (TRACY e ZHANG, 2008).

Para Moraes et al. (2002), teoricamente os sistemas de produção agrícola poderiam ser beneficiados por alternativas econômicas de rotação de culturas que fossem capazes de contribuir para melhoria na utilização dos investimentos, e que buscassem intensificar o uso da terra e desenvolver sistemas de produção mais estáveis. O ingresso da pastagem no sistema representa um degrau a mais na busca de uma agricultura agro ecologicamente sustentável, o que permite diversificar o sistema de forma mais elástica e constante, além de permitir ao produtor se distanciar de riscos inerentes de uma propriedade apoiada somente nos cultivos de culturas agrícolas, independente do tamanho dessa propriedade e das diferentes condições edafoclimáticas em que se encontra. Ainda mais, permite o fluxo de caixa mais condizente com o orçamento familiar, principalmente para o pequeno produtor rural. Em áreas com pastagem e solo degradados, os consórcios, rotações e sucessões lavouras-forrageiras são recomendadas. A produção de grãos visa, fundamentalmente, o ressarcimento parcial ou total dos dispêndios realizados com insumos e serviços.

Para Costa (2003) os incontáveis benefícios da integração lavoura-pecuária podem ser assim sintetizados: agronômicos, por meio da recuperação e manutenção das características produtivas do solo; econômicos, por meio da diversificação de oferta e obtenção de maiores rendimentos a menor custo e com qualidade superior; ecológicos, por meio da redução da biota nociva às espécies cultivadas e consequente redução da necessidade de defensivos agrícolas, e redução da erosão; e sociais, pela distribuição de

renda mais uniforme, já que as atividades de pecuária e lavoura concentram e distribuem renda, respectivamente. Segundo ele, a integração lavoura pecuária pode aumentar a produção de grãos e carne, reduzir os custos de produção, aumentar a renda, melhorar e conservar as características produtivas do solo, desenvolver o setor rural através da geração de empregos diretos e indiretos.

Para Babinot Jr. et al. (2009), a ILP pode proporcionar vantagens, como maior biodiversidade do solo e melhoria da qualidade dos atributos físicos do solo.

2.2 Atributos físicos do solo

2.2.1 Agregados do solo

Agregado é um grupo de duas ou mais partículas primárias que aderem umas as outras mais fortemente do que as partículas que as circundam. O tamanho do agregado determina sua susceptibilidade à movimentação pelo vento e pela água e também o espaço poroso e o seu arranjo, interferindo na movimentação da água e do ar no solo, sendo ainda, um dos principais fatores condicionadores do ambiente para o crescimento do sistema radicular das plantas. A estabilidade de agregados do solo pode resultar da união mecânica de partículas do solo pelas células e hifens dos organismos, por efeitos cimentantes dos produtos derivados da síntese microbiana ou pela ação de estabilização de decomposição dos resíduos, individuais ou combinados (BOENI, 2007).

O pré – requisito para a formação do agregado é que a argila esteja floclada, que é uma condição necessária, porém não suficiente (LIER 2010). Segundo esse autor, a análise da estabilidade de agregados normalmente é feita no material representativo das camadas superficiais do solo. Nos relativos à estabilidade dos agregados, busca-se avaliar a ação das forças responsáveis pela destruição dos agregados do solo, estando elas relacionadas com o cultivo do solo, erosão ou simples umedecimento do solo.

Os agregados do solo formam, em conjunto, a estrutura do solo, que define a porosidade e a retenção de água (BEUTLER et al, 2005)

Os autores Boeni, (2007); Salton et al, (2008) têm indicado uma relação direta entre agregação e conteúdo de C no solo demonstrando que as variações de teores de Carbono no solo pode desempenhar um papel importante em estudos envolvendo agregação do solo. Segundo Salton et al., (2008) agregados estáveis são cruciais para uma boa estrutura do solo, proporcionando porosidade ideal para o crescimento das raízes das plantas bem como

movimento de água no solo. A adição de resíduos das culturas, nas camadas superficiais, aumentam a atividade microbiana, aumentando assim o teor matéria orgânica, que são importantes agentes cimentantes dos agregados do solo.

2.2.2 Densidade do solo

A densidade do solo, definida como sendo o quociente de sua massa de sólidos por seu volume, é um importante atributo físico, por fornecer indicações a respeito de sua conservação, sendo largamente utilizada na avaliação da compactação e/ou adensamento dos solos (CARVALHO et al, 2007)

A densidade do solo é um atributo que reflete primariamente o arranjo das partículas que por sua vez define as características do sistema poroso. Por outro lado qualquer manifestação que possa influenciar a disposição das partículas refletirá diretamente nos valores da sua densidade. Em síntese, num sentido amplo, a densidade do solo depende da sua estrutura em todos os seus aspectos (LIER, 2010).

A densidade do solo é uma propriedade variável e depende da estrutura e compactação do solo. Conforme Costa et al. (2003), a densidade tende a aumentar com a profundidade o que se deve a fatores tais como: teor reduzido de matéria orgânica, menor agregação, menor penetração de raízes, maior compactação ocasionada pelo peso das camadas sobrejacentes, diminuição da porosidade total devido à eluviação de argila, dentre outros.

Segundo Andreolla (2005), o aumento da densidade corresponde à eliminação do ar dos poros do solo, sendo facilitada porque quando teor de água não é muito elevado, o ar se encontra em forma de canálculos intercomunicados. A redução do atrito pela água e dos canálculos de ar permite uma densidade maior quando o teor de água é maior. Esse atributo geralmente aumenta com a profundidade do perfil, pois, as pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes provocam o fenômeno da compactação, reduzindo o volume. Quanto maior a densidade do solo, tanto mais compactado é o solo, restringindo o crescimento e desenvolvimento das plantas. A densidade do solo é um valor variável para um mesmo solo, alterando-se de acordo com a estruturação (ANDREOLLA, 2010).

O aumento da densidade do solo e o processo de compactação ocorrem quando o pisoteio animal se dar sobre o solo com umidade elevada e baixa cobertura (LIMA et al, 2004).

Reichert (2007) avaliou a densidade de um solo de textura franca submetido a plantio direto e a plantio convencional, após pastejo de inverno, e obteve pequeno efeito do pisoteio animal, atribuído à manutenção de resíduo vegetal sobre o solo em torno de 1,0 Mg ha⁻¹ de massa seca. Essa cobertura protegia o solo do impacto direto da pata do animal e favorecia o rebrote e crescimento da pastagem.

Em experimento semelhante Albuquerque, Sangoi e Ender, (2001) avaliaram a densidade de um solo de textura argilosa, encontraram a pior situação de densidade do solo nas áreas de plantio direto, com valores de 1,24 g cm⁻³ para a camada de 0 – 5cm e 1,01 g cm⁻³ para a mesma camada com plantio convencional, entretanto em semelhante sob mata, a densidade desta camada estava em torno de 0,81 g cm⁻³. Esses autores apontam que na integração lavoura-pecuária, é importante ter cuidado com a umidade do solo no momento da entrada dos animais nas áreas e com o fornecimento de matéria orgânica e manutenção do solo coberto.

Lunardi (2005) testando métodos e intensidades de pastejo em um Argissolo Vermelho Distrófico Típico, não verificou efeito significativo na densidade do solo.

Spera (2010) em experimento com diferentes sistemas de integração de produção de grãos e pastagens em um Latossolo Vermelho distrófico típico, verificou alterações na densidade do solo, entretanto essas alterações não atingiram níveis que indiquem degradação.

Segundo Klein (2008), a densidade do solo é uma das primeiras propriedades a ser alterada pelos diferentes usos. Essas alterações afetam propriedades físico-hídricas importantes, como a porosidade de aeração, a retenção de água no solo, a disponibilidade de água as plantas e a resistência do solo a penetração.

Flores (2004) trabalhando em um Latossolo submetido ao pastejo de inverno em pastagem constituída por aveia-preta (*Avena strigosa* Schreber) e azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), manejada a alturas variando de 0,10 a 0,40 m, não obtiveram diferenças significativas na densidade do solo estudado.

Em experimento com pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado, Lima et al. (2004) verificaram uma ampla variabilidade na densidade do solo, e no estado de compactação do solo provavelmente ocasionada pelas condições diferenciadas de teores de água do solo nos dois sistemas.

2.2.3 Resistência Mecânica do Solo a Penetração

A resistência mecânica do solo a penetração é a capacidade do solo suportar forças sem apresentar falhas, seja por rupturas, fragmentação ou fluxo. Em termos quantitativos, é a máxima tensão que um solo pode suportar sem que haja falha na estrutura. A resistência do solo a penetração tem sido utilizada para identificar as camadas compactadas do solo e mudanças nas propriedades físicas associadas a seus horizontes. A resistência à penetração pode ser avaliada por meio de penetrógrafos e penetrômetros automáticos, de anel dinométricos ou de impacto (LIER 2010).

O penetrômetro é um aparelho utilizado para identificar os níveis de compactação do solo, sendo um instrumento importante na avaliação da compactação do solo, porém os resultados obtidos por meio dele devem ser inseridos em um contexto maior de avaliação da compactação, contemplando, além do uso correto do equipamento (numa mesma condição de teor de água, dentro da consistência friável, mas próximo do limite de contração), o histórico de produtividade da propriedade em diferentes glebas e abertura de trincheiras para a verificação do sistema radicular (TORRES e SARAIVA, 1999).

A inserção da haste do penetrômetro no solo é semelhante à infiltração de água no perfil, se houver resistência, certamente haverá problemas no desenvolvimento das culturas, uma vez que a solução do solo não atingirá o sistema radicular.

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) constitui uma das variáveis físicas consideradas na avaliação da qualidade do solo em plantio direto, envolvendo questionamentos quanto à compactação e a conveniência ou não do revolvimento mecânico deste sistema de manejo para reduzi-la e propiciar menores restrições ao desenvolvimento radicular das plantas (FIDALSKI et al., 2006).

Em estudo com diferentes métodos e intensidades de pastejo em um Argissolo Vermelho Distrófico Típico, Lunardi (2005) verificou que o método de pastejo, não afetou a resistência do solo a penetração, porém a intensidade de pastejo afetou a qualidade estrutural do solo, observando menor resistência à penetração na camada superficial do solo (0,0 – 0,10m).

Em estudo com diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo, Tavares Filho et al. (2001) encontraram maiores valores de resistência do solo a penetração na camada do solo até 0,15m, no sistema de plantio direto (3,54 MPa), do que no sistema convencional (2,24MPa). Já na camada de 0,15 a 0,35m não houve diferença significativa entre os dois sistemas.

A análise das alterações ocorridas nas propriedades físicas do solo pode auxiliar o manejo, sendo uma maneira prática de se identificar as condições em que o solo se encontra em relação à compactação decorrente do manejo utilizado. Análise que pode ser realizada com o auxílio de penetrômetro de cone, que identifica a profundidade da camada compactada, onde com posse dessas informações, opta-se pelo uso do equipamento mais adequado para resolução do problema.

Para Cunha et al. (2002) resistência mecânica à penetração do solo mostrou-se altamente relacionada com o teor de água e densidade do solo.

Segundo Lier (2010), a resistência mecânica do solo a penetração depende do conteúdo de água, da densidade do solo e da distribuição do tamanho das partículas, portanto um solo seco ou mais denso apresenta maior resistência do que um solo mais úmido ou menos denso.

2.2.4 Compactação do solo

A compactação pode ser definida como sendo a alteração na estrutura física do solo de modo a reduzir os espaços internos que normalmente são ocupados por água e ar. Em decorrência disso, a disponibilidade desses elementos no solo torna-se reduzida, dificultando, assim, o bom desenvolvimento das culturas (ASSIS et al., 2009).

Os principais fatores que influenciam no processo de compactação do solo são tipo de material, a natureza do esforço de compactação, a energia de compactação aplicada, o teor de água e a espessura da camada a ser compactada. Em geral, o emprego da técnica de melhoramento é responsável por redução na compressibilidade do solo, pelo aumento da resistência ao cisalhamento e pela redução na permeabilidade dos solos (PEREIRA et al. 2007).

A compactação afeta as condições do solo, influenciando a maneira de preparação de terrenos, como os tratos culturais e a colheita são executados, a germinação de sementes e o subsequente crescimento e desenvolvimento das plantas. As condições do solo mais seriamente afetadas são aquelas que controlam o teor e transmissão da água, ar, calor e nutrientes, e que modificam a resistência do solo, pela alteração da distribuição dos tamanhos dos poros (ANDREOLLA, 2005).

Para Beutler et al. (2005) a compactação do solo pelo tráfego de máquinas, originada da compressão do solo insaturado, é a principal causa da degradação física dos

solos agrícolas, que aumenta com a intensidade de tráfego em condições inadequadas de teor de água do solo.

Segundo Andreolla (2005), um dos principais problemas relacionados à compactação reside na realização de operações agrícolas com umidade inadequada para o tráfego de máquinas. Essa situação acentua-se nas áreas irrigadas, quando o teor de água do solo permanece frequentemente na capacidade de campo e o solo apresenta condições para sofrer máxima compactação. Observando o comportamento diferenciado do solo na presença de água, destaca-se que, quando úmido, ele se comporta como um líquido, quando perde parte da água, torna-se plástico e, quando seco torna-se quebradiço. Esses fatos são constatados pela prática de preparo do solo, quando se classifica o solo como fácil de trabalhar, quando molhado, e duro e impraticável para as operações mecanizadas, quando seco.

A magnitude das alterações nos atributos físicos do solo, são os responsáveis por afetar o desenvolvimento radicular das culturas de grãos e está na dependência do manejo que é aplicado nas áreas sob pastejo, podendo essas alterações variarem com a textura, o teor de matéria orgânica e o teor de água do solo (PEREIRA et al. 2007).

A compactação provocada pelo pisoteio dos animais é influenciada por diversos fatores: textura do solo, sistema de pastejo (LEÃO et al., 2004), e quantidade de resíduo vegetal sobre o solo (BRAIDA et al., 2006). O efeito do pisoteio animal sobre as propriedades físicas do solo é limitado às suas camadas mais superficiais, e pode ser temporário e reversível (CASSOL, 2003).

A compactação do solo é vista como um componente importante dos problemas de degradação do solo e do ambiente, em que a produtividade do solo sofre um severo declínio como resultado do gerenciamento errado pelo, homem sendo reconhecido como uma condição comum com processos físicos, químicos e biológicos sendo identificados (SOANE e VAN OUWERKERK, 1994).

No Brasil, há uma tendência de avaliar a susceptibilidade do solo conjuntamente com a compactação e com o momento ideal para executar as operações mecanizadas no solo, como medidas preventivas da compactação, com o objetivo de minimizar os problemas de degradação dos solos agrícolas (OLIVEIRA et al. 2003)

A busca por um sistema de cultivo, que melhore a estrutura do solo e possibilite tornar seu manejo sustentável, causando o mínimo impacto ambiental, é essencial à agricultura moderna. Neste contexto, deve-se adotar um sistema de cultivo que contribua

para melhoria da qualidade do solo, aumentando a produtividade das culturas e reduzindo o custo final de produção.

A compactação dos solos agrícolas tem aumentado, tornando-se fator limitante ao aumento da produtividade e sustentabilidade do sistema de plantio direto em solos de textura argilosa e muito argilosa (SILVA, 2003), sendo que, em algumas situações, tem sido adotado o revolvimento periódico do solo (TORMENA et al., 2004).

Albuquerque et al. (2001) relatam que a compactação do solo causada pelo intenso tráfego de máquinas, implementos agrícolas e pelo pisoteio animal tem sido apontada como uma das principais causas da degradação de áreas cultivadas em sistema de integração lavoura-pecuária.

O ensaio de Proctor é a principal ferramenta utilizada na engenharia para avaliar as condições críticas de umidade para a compactação do solo (PINTO, 2000). Consiste na aplicação de uma energia constante, em uma amostra do solo, para diferentes teores de água deste solo, medindo-se ou a densidade da amostra ou o índice de vazios. Atualmente, tem-se utilizado esse ensaio para avaliar o potencial de compactação dos solos empregados na produção agrícola.

A adoção de práticas conservacionistas de manejo do solo tem recebido grande ênfase, basicamente no que se refere à manutenção e à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos cultivados e suas implicações na produtividade das culturas (ARGETON et al.2005). Essas práticas de manejo aumentam a matéria orgânica na camada superficial, onde os resíduos culturais concentram-se pela ausência de incorporação física através do revolvimento do solo (SILVA et al.2005); neste sentido, a estratificação da matéria orgânica no perfil é um parâmetro indicativo da qualidade do solo (TORMENA et al.2004).

2.2.5 Porosidade do solo

A porosidade do solo refere-se ao volume de vazios do solo, sendo dividida em macro e microporos, (com poros maiores e menores de 0,05mm), respectivamente e deve estar entre 25% e 30% (ANDREOLLA, 2005) e o espaço poroso controla as relações entre as fases sólida, líquida e gasosa dos solos. Com base nesse controle é que se percebe a importância da boa distribuição de macro e microporos em estudos que envolvam o armazenamento e movimentação de água e ar no solo e no desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Embora as raízes se desenvolvam com porosidade de aeração acima

de 10%, o solo ideal deve apresentar um terço de macroporos e dois terços de microporos. Dessa forma os solos adquirem aeração, permeabilidade e capacidade satisfatória de reter água, proporcionando a produtividade desejada, ou seja, o solo com tais características consegue manter o equilíbrio entre as propriedades: condutividade hidráulica, aeração, capacidade de reter água e compactação.

Laurani et al, (2004) define o solo como sendo um sistema tridimensional, complexo, composto por espaços porosos que são ocupados por ar e água. A porosidade do solo é muito importante para a infiltração de água no solo, desenvolvimento das raízes e transporte de gases.

A porosidade, fração do volume ocupado com solução e ar do solo, é de grande importância aos processos físicos, químicos e biológicos, como infiltração, condutividade, drenagem, retenção de água, difusão de nutrientes, crescimento de microrganismos, raízes e pêlos absorventes (MENDES, 2006).

O volume de macroporos de 10% é o mínimo necessário para difusão de O_2 até as raízes (TORMENA et al.2004).

Segundo Secco et al.(2005), a porosidade de aeração do solo torna-se limitante para o desenvolvimento da maioria das plantas quando for menor que 10 - 15 %. A porosidade do solo pode ser de origem estrutural ou textural, e os poros resultam do arranjo das partículas elementares do solo. A porosidade estrutural é mais alterada pelo manejo e pela compactação, caracterizados principalmente pelo decréscimo da porosidade total e da macroporosidade e do aumento da microporosidade. A redução da porosidade total e da macroporosidade altera as relações de ar, água e temperatura do solo, afetando negativamente a germinação, emergência, crescimento e produção das plantas (VZZOTTO, 2000).

O decréscimo dos poros de maior diâmetro pela compactação ocorre às expensas da fragmentação dos agregados, por causa da ação dos equipamentos de preparo do solo ou pelo peso das máquinas que trafegam sobre o mesmo ser superior à máxima resistência interna dos agregados, destruindo os espaços inter agregados que são de maior diâmetro (BEUTLER 2005).

A porosidade do solo é responsável pelo armazenamento de água disponível para as plantas, em determinado período sem chuvas, a fim de manter a produtividade das culturas sem prejuízo ao desenvolvimento da planta (MELO 2006).

Para Stone (2002), a compactação do solo provoca reduções significativas no volume de macroporos, enquanto que os microporos permanecem praticamente

inalterados, isto pode afetar a infiltração de água no solo, que está diretamente relacionada com a macroporosidade, que são importantes para o crescimento das raízes e para o movimento de solutos.

Oliveira et al. (2003) concluíram que os valores de pressões que podem reduzir a porosidade do solo a níveis críticos ao crescimento e desenvolvimento de plantas variaram em todos os sistemas de manejo, apresentando os menores valores para as condições mais úmidas, sendo função também da porosidade inicial do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área Experimental

O experimento foi instalado em uma propriedade rural da região semi-árida do Nordeste do Brasil, precisamente no município de Riacho dos Cavalos/PB, localizado a 06°26'34" S e 37°39'03" W com altitude de 200 m. Até o ano de 2009, antes da instalação do experimento, a área era mantida sob pastagem natural com a exploração somente para alimentação do rebanho bovino.

3.2 Clima e Solo

O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo BSW_h, ou seja, seco e quente, com duas estações climáticas: uma seca que vai geralmente de junho a janeiro e outra chuvosa, de fevereiro a maio, apresentando temperatura média anual de 27°C, e precipitação pluviométrica anual de 850 mm.

O solo foi classificado como NEOSSOLO Flúvico, de textura Franco Arenosa (EMBPAPA, 1999).

3.3 Preparo do solo e semeadura

O solo foi preparado de maneira convencional com uma grade aradora pesada tipo Tatu Marchesan de 14 discos de 32 polegadas tracionada por um Trator Massey Fergusson 292 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA).

Para o preparo secundário, utilizou-se uma grade niveladora tracionada por um trator Agrale 5075 4x2.

Na operação de semeadura do milho (*Zea Mays*) e do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), foi utilizada uma semeadora montada para sistema convencional, marca Tatu modelo T2S-I de 4 linhas, espaçadas de 80cm, tracionada por um trator Massey Fergusson 292 4x2 TDA.

A escolha dessas culturas para realização do experimento, se deu devido ao fato de ser estas, as duas culturas de maior importância para a região.

3.4 Instalação do experimento

As áreas onde o experimento foi instalado, foram divididas em 04 blocos, medindo 50m largura por 50m de comprimento, totalizando 0,25 ha. Foram coletadas aleatoriamente, amostras de solo nas camadas de 0,0 – 0,05; 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20m com 04 repetições, sendo 12 amostras por bloco, totalizando 48 amostras por hectare. Foram utilizadas 02 hectares, sendo uma para cultura do milho e outra para a cultura do feijão.

As amostragens foram feitas em duas épocas, sendo a primeira em 27 Agosto de 2009, após a pastagem do rebanho (época 1) e uma segunda amostragem em 27 Agosto de 2010, após a implantação do sistema de integração lavoura-pecuária (época 2).

Além da coletas, foi realizado também um trabalho de determinação da resistência mecânica do solo a penetração, feito com o auxílio de penetrógrafo de haste, marca FALKER PenetroLOG – modelo PLG 1020, com aptidão eletrônica para aquisição de dados (ASAE, 1999).

As amostras foram coletadas e transportadas para o Laboratório de Dinâmica do Solo na Interação Solo – Máquina, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, onde posteriormente realizaram as análises e de posse dos dados fez-se a caracterização física do solo. A determinação do teor de matéria orgânica do solo foi realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da UFERSA.

Os parâmetros de densidade do solo, densidade textural, índices de vazios estruturais e índice de compressão do solo e resistência do solo à penetração foram analisados na profundidade de 0,0 a 0,05 m, 0,05 a 0,10m e 0,10 a 0,20m.

Após o primeiro ciclo das culturas, em foi instalado o rebanho bovino, com 10 animais pesando em média 400 kg de peso vivo, permanecendo em sistema de pastejo contínuo durante 90 dias.

3.5 Determinação das características físicas do solo.

3.5.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi determinada conforme metodologia da Embrapa (1997).

Na Tabela 1 são apresentadas as características físicas dos solos cultivados com feijão e com milho após a pastagem.

Tabela 1. Características físicas do solo, cultivado com feijão e milho (época 1).

Área cultivada com feijão				
Camada (m)	Argila (g Kg ⁻¹)	Areia (g Kg ⁻¹)	Silte (g Kg ⁻¹)	Textura
0,00 – 0,05	80	740	180	Franco Arenosa
0,05 – 0,10	95	700	195	
0,10 – 0,20	130	665	205	
Área cultivada com milho				
	Argila (g Kg ⁻¹)	Areia (g Kg ⁻¹)	Silte (g Kg ⁻¹)	Textura
0,00 – 0,05	105	715	180	Franco Arenosa
0,05 – 0,10	195	650	145	
0,10 – 0,20	155	720	125	

Fonte: Laboratório de Física e Manejo do Solo da Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

3.5.2 Densidade de partículas

A densidade de partícula foi determinada pelo método do picnômetro com água (STENGEL, 1983), para as três camadas analisadas e os cálculos foram determinados pela seguinte expressão:

$$1. \rho_p = (m_1 - m_0) / [(m_3 - m_0) - (m_2 - m_1)]$$

Em que:

ρ_p é a densidade de partícula, em g.cm⁻³;

m_0 é a massa no picnômetro vazio, em g;

m_1 é a massa no picnômetro com solo após ser seco em estufa, em g;

m_2 é a massa no picnômetro com solo e água, em g;

m_3 é a massa no picnômetro com água, em g.

3.5.3 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, nas mesmas profundidades em estudo, conforme descrito por Embrapa (1997).

Os resultados foram obtidos pela fórmula:

$$2. \rho_s = M_s/V_c$$

Em que:

ρ_s é a densidade do solo, g.cm^{-3} ;

M_s é a massa do solo seco, g;

V_c é o volume do anel volumétrico.

3.5.4 Densidade de Agregados

Também chamada de densidade textural do solo foi determinada pelo método de (STENGEL, 1983) que determina a densidade de pequenos fragmentos de solo, com diâmetros entre 2,0 e 3,35 mm, imersos em querosene.

O volume foi determinado pela equação:

$$3. V_a = m/\rho_q$$

Em que:

V_a é o volume de agregados em cm^3 ;

m é massa dos agregados imersos em querosene, em g;

ρ_q é densidade do querosene em g.cm^3 .

A densidade dos agregados foi determinada pela equação:

$$4. \rho_a = m_{as}/V_a$$

Em que:

ρ_a é a densidade de agregados em g.cm^3 ;

m_{as} é a massa de agregados secos em g;

V_a é o volume dos agregados em cm^3 .

3.5.5 Matéria Orgânica

A matéria orgânica do solo foi determinada de acordo com a metodologia descrita em (EMBRAPA 1997).

3.5.6 Índice de vazios estrutural

O índice de vazios estrutural do solo, conforme metodologia de (STENGEL, 1983).

O resultado foi obtido pela fórmula:

$$5. \quad e_s = e_T - e_t$$

Em que:

e_s é o índice de vazios estrutural;

e_T é o índice de vazios total do solo;

e_t é o índice de vazios de agregados ou textural do solo.

3.5.7 Índice de compressão do solo

O índice de compressão do solo, conforme metodologia de (STENGEL, 1983).

Para cada amostra foi determinado o índice de compressão do solo, em termos de capacidade de suporte, foi realizada pelo método do Oedômetro (WEISS, 2005), usando célula de 70 mm de diâmetro por 24 mm de altura. As amostras após secas ao ar foram peneiradas em peneiras de 2 mm. Para determinação da capacidade de suporte de carga do solo, foram adicionados teores de água de 5, 8, 12, 16 e 20%, aos teores de água do solo em condições naturais (terra seca ao ar) e em seguida as amostras foram levadas ao Oedômetro e aplicou-se pressão uniaxial seqüencial de 0,03; 0,5; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 e 0,6 MPa. Cada pressão foi submetida a um tempo de 30 s com relaxamento de 120 s entre pressões. A deformação foi medida no final de cada carregamento e após cada relaxamento. Foram realizadas três repetições sistematicamente para cada amostra de solo deformada. Foram utilizadas amostras com densidades de 1,0 (normal ou ideal) e 1,31 g.cm³, que foi o valor médio encontrado para o solo cultivado com feijão e de 1,0 (normal ou ideal) e 1,32 g.cm³, valor médio para o solo cultivado com milho.

O índice de compressão do solo foi calculado pela fórmula:

$$6. \quad e = e_1 - C_c \log(\sigma_1)$$

Em que:

e é o índice de vazios a uma determinada pressão

e_1 é o índice de vazios a pressão de 1 kPa (σ_1)

C_c é o índice de compressão do solo

3.5.8 Resistência mecânica do solo a penetração

A resistência mecânica do solo à penetração foi determinada com auxílio de um penetrógrafo, FALKER PenetroLOG – PLG 1020 (Figura 1), por ser eficiente na avaliação de camadas compactadas do solo (LIMA et al 2009), o qual foi introduzido no perfil do solo através de um cone com ângulo de 45° acoplado a uma haste metálica realizando leituras a cada 1 cm de profundidade. Foi utilizada a metodologia de Camargo e Alleoni (1997). O penetrógrafo é um medidor eletrônico da compactação do solo constituído de um módulo eletrônico (que armazena os dados) com punhos e parte fixa da haste e haste removível rosqueados com pontas tipo cone (ponta fina) para facilitar penetração no solo. Foram feitas medidas de 0 – 0,40m de profundidade. O módulo eletrônico registra a força aplicada em kPa (posteriormente transformada em MPa) a cada cm ao longo do perfil do solo.



Figura 1 Trabalho de determinação da resistência mecânica do solo à penetração com o penetrógrafo FALKER PenetroLog – PLG1020.

3.6 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi o delineamento em blocos ao acaso para os parâmetros de densidade do solo e índice de vazios estrutural máximo, com os tratamentos arranjados em esquema fatorial 2x3x3. Os fatores correspondem a duas épocas de coletas (1 e 2); três camadas (0,0 – 0,05; 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20)m; e três repetições. Cada área experimental de um hectare foi dividida em quatro blocos de 0,25 ha. Foram utilizadas informações da metodologia empregada por Lunardi (2005).

Análise de variância foi realizada a fim de obter informações sobre a diferença entre tratamentos em relação às variáveis. Nos casos em que a diferença foram significativas pelo teste F ao nível de 5% de significância, foram comparadas as médias pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. A análise de variância foi feita com o auxílio do programa estatístico Sistema para Análise de Variância – SISVAR versão 5.0.(FERREIRA, 2003).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade de partículas

Observa-se na Tabela 2, os valores médios para densidade de partículas no solo cultivado com milho, que a camada de 0,0 a 0,05m apresentou menor valor médio (2,54 g.cm⁻³), enquanto que a camada de 0,05 a 0,10m de profundidade apresentou o maior valor médio (2,62 g.cm⁻³). Na mesma Tabela, encontram-se também os valores das densidades de partículas no solo cultivado com feijão, onde observa-se que na camada de 0,0 a 0,05m de profundidade o valor médio registrado foi de 2,50 g cm⁻³ enquanto que o maior valor médio (2,73 g cm⁻³), foi encontrado na camada de 0,05 a 0,10m de profundidade.

Este resultado pode ser explicado segundo Lima et al, (2010) porque quanto maiores os teores de matéria orgânica do solo, menor é a sua densidade de partículas, exatamente o que foi observado no presente experimento, onde a maior quantidade de matéria orgânica está concentrada na camada de 0,0 a 0,05m de profundidade, do solo no período em estudo. E, conforme Piacentini (2008), valores maiores de densidade de partículas podem ser encontrados nas camadas de 0,05 - 0,10; e de 0,10 – 0,20m, devido ao fato das camadas superiores exercerem pressão sobre as camadas inferiores e também, porque as camadas superficiais são menos densas.

Tabela 2 Valores médios de densidade de partículas obtidos nas camadas de 0,0 - 0,05; 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,20m de profundidade no solo com cultivo de milho e com feijão (época 1).

Camada	Densidade de partículas do solo (g.cm ⁻³)	
	Milho	Feijão
0,00 – 0,05	2,54	2,50
0,05 – 0,10	2,65	2,73
0,10 – 0,20	2,62	2,60

Fonte: Laboratório de Dinâmica do Solo na Interação Solo – Máquinas da Universidade Federal Rural do Semi – Árido.

4.2 Densidade do solo

4.2.1 Densidade do solo cultivado com feijão e com milho.

Os valores médios de densidade do solo obtidos nas áreas com culturas de milho e feijão são apresentados na Tabela 3.

Os resultados revelam que ocorreu diferença significativa entre as médias obtidas nas camadas de 0,0 – 0,05m; 0,05- 0,10m e 0,10 - 0,20m de profundidade, no solo onde foi instalada a cultura do milho. Os mesmos resultados mostram que a densidade aumentou com a profundidade do solo, sendo os menores valores obtidos na camada de 0,0 – 0,05m e os maiores na camada de 0,10 – 0,20m de profundidade. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al, (2005).

No solo onde foi instalada a cultura do feijão, os valores médios de densidade não apresentaram diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de significância, embora a densidade apresente o mesmo comportamento daquele obtido no solo cultivado com milho, ou seja, a densidade aumenta a medida em que se aumenta a profundidade, e com maior valor para densidade obtido na camada de 0,10 - 0,20m. Esse aumento na densidade do solo nas camadas mais profundas pode ser atribuídos ao tráfego de máquinas agrícolas durante a realização dos trabalhos dos tratos culturais. Para Sarmento et al. (2008), o pisoteio animal sobre o solo é potencializado quando o pastejo é realizado em solos com teor de água elevado e com baixa cobertura vegetal, o que evidencia à necessidade de manutenção da cobertura vegetal adequada sobre os solos, afim de mitigar esse efeito do pisoteio sobre a qualidade física dos solos, com o objetivo de melhorar as características físicas do solo.

Tabela 3. Valores médios de densidade do solo nas camadas de 0,0 - 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,20 m de profundidade no solo com cultura de milho e feijão num sistema de integração lavoura-pecuária.

Profundidade (m)	Solo com cultura instalada	
	Milho	Feijão
0,00 – 0,05	1,32a	1,45a
0,05 – 0,10	1,42b	1,49a
0,10 – 0,20	1,52c	1,54a
DMS	0,08	0,10

Médias de tratamento seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Em relação às épocas, não houve diferença significativa, ou seja, as densidades dos solos na época 1(época de pastagem) e época 2 (após a pastagem), não diferiram entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Portanto não houve interação época * profundidade (Apêndice 1 e 2).

4.3 Densidade de agregados

4.3.1 Densidade de agregados da camada de 0,0 a 0,05 m

As curvas de densidade de agregados da camada de 0,0 a 0,05 m para os solos cultivados com feijão e milho respectivamente, estão representadas na (Figura 2). As retas de cores diferenciadas representam as fases em que os agregados apresentam suas diferentes densidades em função do teor de água.

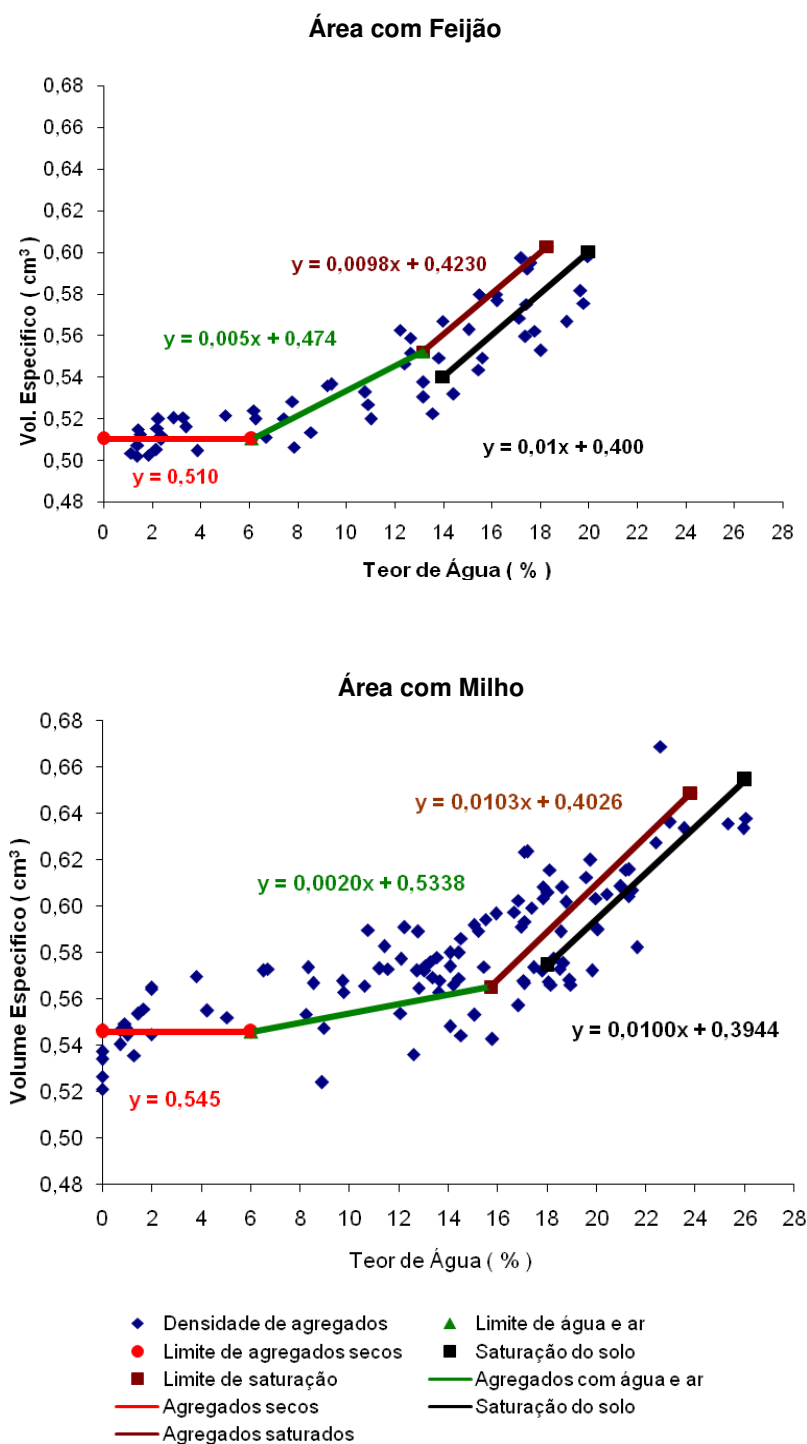


Figura 2 Curva de densidade de agregados na camada de 0,0 a 0,05m do solo com cultivo de feijão e de milho.

As retas de cores vermelhas representam os teores de água em que os agregados se apresentam, com teor de água menor que 6,11 % para o solo cultivados com feijão e 6,02 % para o solo cultivado com milho. É nesta fase que os agregados apresentam resistência a compressão, ocorrendo à acomodação entre as partículas de agregados.

A segunda reta de cor verde representa a fase em que os agregados se apresentam com ar e água, onde observa-se teores de água entre 6,11 e 13,16 % para o solo cultivado com feijão, e de 6,02 e 15,72 para o solo cultivados com milho. Nesta fase para ambos os solos, ocorre rápida acomodação entre as partículas de agregados, não havendo fraturas nos agregados, no entanto podendo ser trabalhado sem causar danos a estrutura do solo, concordando com MELO (2006).

Na fase seguinte, o limite de entrada de ar foi de 13,16 % e 15,72 % para os solos cultivados com feijão e milho respectivamente. A reta na cor vermelha escuro mostra os valores de saturação dos agregados, que chegam aos seus valores máximos de 18,29 % e 23,81% para os respectivos solos. Com valores de saturação acima dos registrados não foi possível realizar trabalho no campo, pois a água funciona como uma película isolante entre as partículas de agregados concordando com MELO (2006).

A faixa de trabalho no solo cultivado com milho foi maior que no solo cultivado com feijão, apresentando um melhor teor de água para a realização das operações agrícolas. O solo cultivado com milho, devido a sua maior capacidade de retenção de água e maior percentual de água para saturação, apresentou melhores condições estruturais do solo na camada de 0,0 a 0,05m.

4.3.2 Densidade de agregados da camada de 0,05 a 0,10 m

Estão representadas na (Figura 3), as curvas de densidade de agregados da camada de 0,05 a 0,10m para os solos cultivados com feijão e milho respectivamente, As retas de cores diferenciadas representam as fases em que os agregados apresentam suas diferentes densidades em função do teor de água.

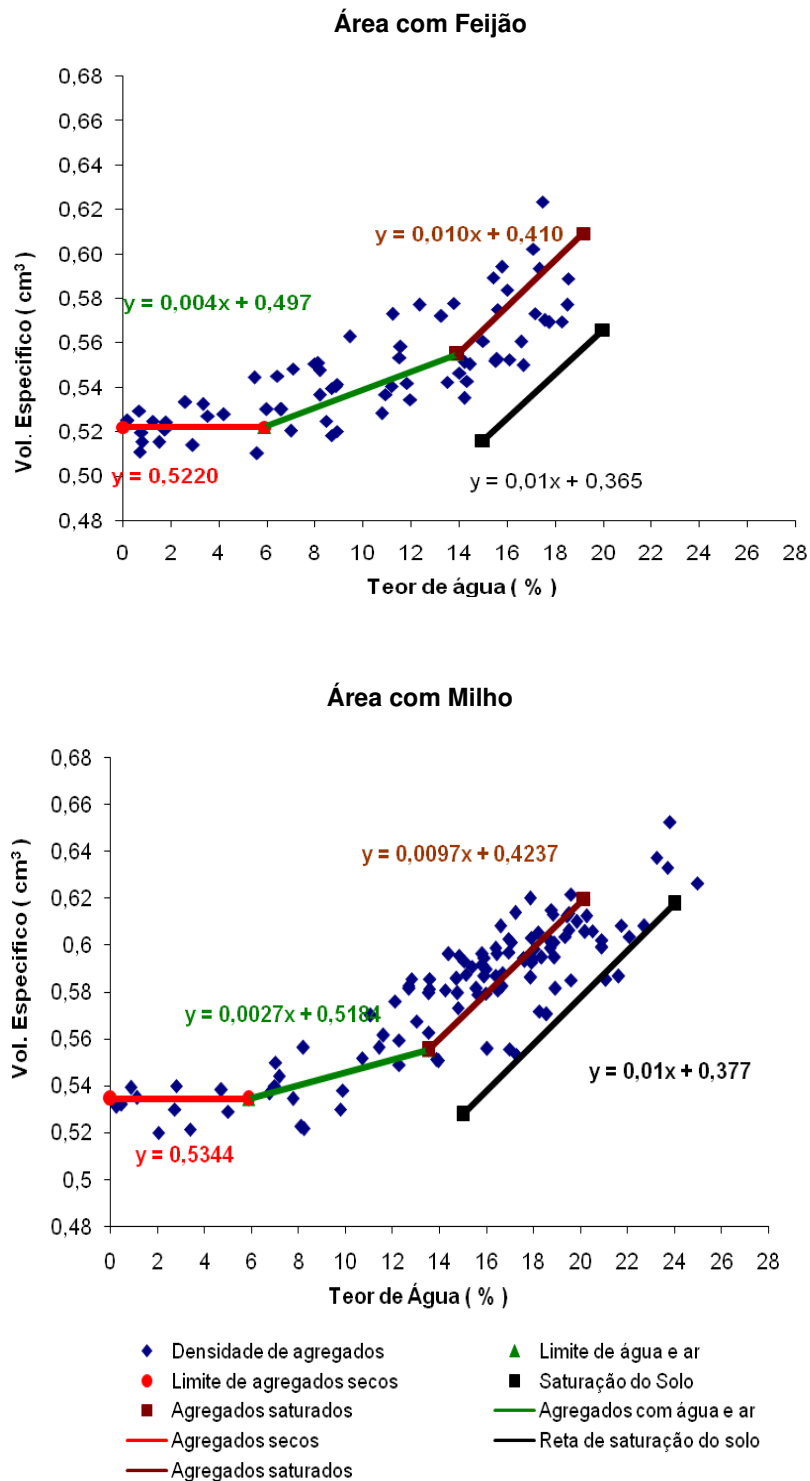


Figura 3 Curva de densidade de agregados na camada de 0,05 a 0,10m do solo com cultivo de feijão e de milho.

As retas de cores vermelhas representam os teores de água em que os agregados se apresentam, com teor de água menor que 5,90 % para o solo cultivados com feijão e 5,88 % para o solo cultivado com milho. Nesse momento, os agregados apresentam resistência à compressão, ocorrendo à acomodação entre as partículas de agregados (MELO 2006).

A segunda reta de cor verde representa a fase em que os agregados se apresentam com ar e água, onde observa-se teores de água entre 5,90 e 13,94 % para o solo cultivado com feijão, e de 5,88 e 13,52 para o solo cultivados com milho. Ocorre aqui uma rápida acomodação entre as partículas de agregados, não havendo fraturas nos mesmos, podendo ser trabalhado sem causar danos à estrutura do solo, concordando com MELO (2006).

Na fase seguinte, o limite de entrada de ar foi de 13,94 % e 13,52 % para os solos cultivados com feijão e milho respectivamente. A reta na cor vermelha escuro mostra os valores de saturação dos agregados, que chegam aos seus valores máximos, com umidades de 19,17 % e 20,16% para os respectivos solos. Com valores de saturação acima dos registrados não foi possível realizar trabalho no campo, pois a água funciona como uma película isolante entre as partículas de agregados concordando com MELO (2006).

Para a camada de 0,05m a 0,10m, observa-se que a faixa de trabalho no solo cultivado com feijão, foi maior que no solo cultivado com milho, apresentando um melhor teor de água para a realização das operações agrícolas. O solo cultivado com feijão, devido a sua maior capacidade de retenção de água e maior percentual de água para saturação, apresentou melhores condições estruturais do solo.

4.3.3 Densidade de agregados da camada de 0,10 a 0,20 m

As curvas de densidade de agregados da camada de 0,10 a 0,20m para os solos cultivados com feijão e milho respectivamente, estão representadas na (Figura 4). As retas de cores diferenciadas representam as fases em que os agregados apresentam suas diferentes densidades em função do teor de água.

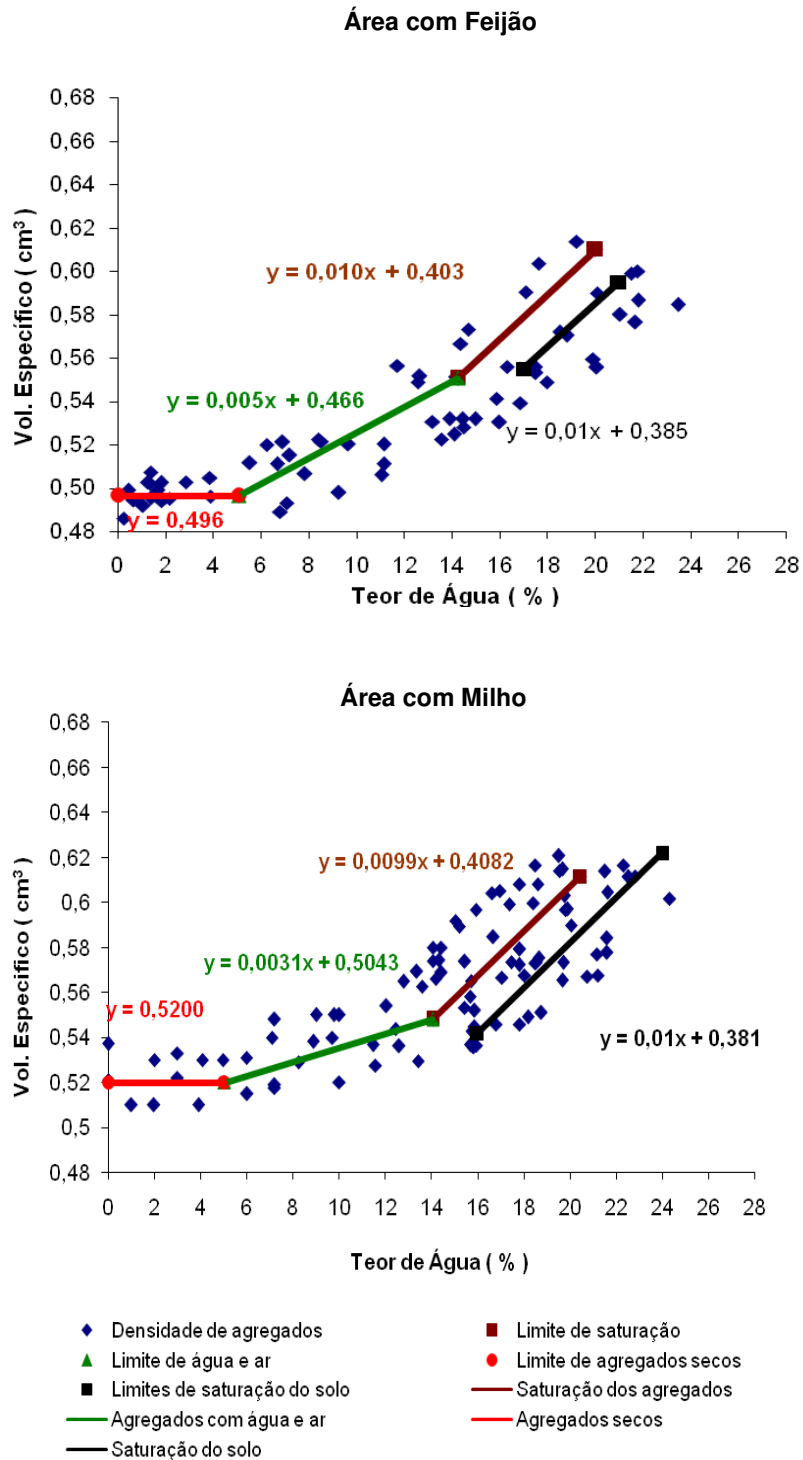


Figura 4 Curva de densidade de agregados na camada de 0,10 a 0,20m dos solos com cultivo de feijão e de milho.

As retas de cores vermelhas representam os teores de água em que os agregados se apresentam, com teor de água menor que 5,06 % para o solo cultivados com feijão e 5,05 % para o solo cultivado com milho. É nesta fase que os agregados apresentam resistência a compressão, ocorrendo à acomodação entre as partículas de agregados.

A segunda reta de cor verde representa a fase em que os agregados se apresentam com ar e água, onde observa-se teores de água entre 5,06 e 14,24 % para o solo cultivado com feijão, e de 5,88 e 14,07 para o solo cultivados com milho. Nesta fase para ambos os solos, ocorre rápida acomodação entre as partículas de agregados, não havendo fraturas nos agregados, de acordo com MELO (2006).

Na fase seguinte, o limite de entrada de ar foi de 14,24 % e 14,07 % para os solos cultivados com feijão e milho respectivamente. A reta na cor vermelha escuro mostra os valores de saturação dos agregados, que chegam aos seus valores máximos de 20,01 % e 20,45% para os respectivos solos, valores esses limitantes para operações agrícolas no campo.

4.4 Matéria orgânica do solo

Os valores médios obtidos para matéria orgânica do solo estão representados na (Tabela 4), onde observa-se que houve um maior acúmulo de matéria orgânica na camada superficial do solo (0,0 – 0,05m). Com o aumento da profundidade decrescem os valores, sendo registrados os menores valores na camada mais profunda (0,10 – 0,20m) dos solos estudados.

Tabela 4 Valores médios obtidos para matéria orgânica do solo, nas profundidades 0,0 – 0,05; 0,05- 0,10 e 0,10 – 0,20m, (época 2).

Camada	Matéria Orgânica do Solo (%)	
	Milho	Feijão
0,00 – 0,05	1,61	1,20
0,05 – 0,10	1,40	1,04
0,10 – 0,20	1,23	0,97

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da UFERSA.

4.5 Índice de vazios estrutural do solo

4.5.1 Índice de vazios estrutural do solo nas épocas 1 e 2

Observando a (Tabela 5), verifica-se que os índices de vazios estruturais, foram significativamente diferentes entre as épocas 1 e 2, tanto para o solo cultivado com milho como para o solo cultivado com feijão. No entanto o índice de vazios no solo cultivado com milho reduziu de 0,44 para 0,29%. Já para o solo cultivado com feijão, verifica-se que ocorreu situação inversa, com os índices de vazios aumentando de 0,28 para 0,38%.

Tabela 5. Valores médios de índice de vazios estrutural do solo para o período após o pastejo de bovinos (época 1) e após a instalação de cultura de milho e feijão (época 2).

Época	Solo com cultura instalada	
	Milho	Feijão
1	0,44 ^a	0,28 ^a
2	0,29 ^b	0,38 ^b
DMS	0,07	0,07

Médias de tratamento seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. 1 – época após o pastejo de bovino, 2 – época após a cultura instalada.

4.5.2 Índice de vazios estrutural do solo cultivado com feijão e milho

Os resultados mostrados na (Tabela 6) indicam que ocorreu diferença significativa nos índices de vazios obtidos entre as profundidades de 0,0 – 0,05m e 0,05 – 0,10m no solo cultivado com milho, não ocorrendo diferença significativa entre as camadas de 0,05 - 0,10m e 0,10 – 0,20m. No solo cultivado com feijão, houve diferença significativa para essa variável entre as camadas de 0,0 – 0,05 e 0,10 – 0,20m. Os valores podem ser atribuídos pelo maior acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo. A redução do índice de vazios nas camadas inferiores a 0,10m pode ser atribuída à distribuição de peso durante o período de pastagem pelos animais (bovinos) e pela carga exercida pelas máquinas durante as operações agrícolas (preparo do solo e plantio e tratos culturais).

Os resultados apresentados são coerentes com os valores obtidos para a densidade do solo (Tabela 3).

Tabela 6. Valores médios do índice de vazios estrutural do solo nas profundidades de 0,0 - 0,05 m; 0,05 – 0,10 m; 0,10 – 0,20 m nos solos com cultura de milho e feijão num sistema de integração lavoura-pecuária.

Profundidade (m)	Solo com cultura instalada	
	Milho	Feijão
0,00 – 0,05	0,4830 ^a	0,3876 ^a
0,05 – 0,10	0,3685 ^b	0,3586 ^{ab}
0,10 – 0,20	0,2679 ^b	0,2549 ^b
DMS	0,11184	0,11062

Médias de tratamento seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

4.5.3 Índice de vazios estrutural máximo do solo cultivado com feijão com densidades de solo 1,0 e 1,31 (g.cm⁻³).

Os gráficos apresentados na (Figura 5) mostram os índices de vazios estrutural máximo do solo cultivado com feijão com densidades do solo 1,0 e 1,31 (g.cm⁻³), A e B, respectivamente.

Verifica-se que na densidade de 1,0 g cm⁻³ (A), no solo cultivado com feijão, que o índice de vazios estrutural, obteve maior valor inicial com um teor de água de 13,5 % e com a o aumento da pressão uniaxial aplicada, os valores foram reduzindo até chegar a valores críticos para esse teor de água e pressão aplicada, a partir do qual não foi possível verificar redução dos valores. Os menores valores iniciais de índice estrutural foram obtidos com um teor de água de 22% e com o aumento da pressão uniaxial aplicada, os valores chegaram a níveis críticos para essa umidade e pressão aplicada.

Na densidade de 1,31 g cm⁻³ (Figura 5B), os maiores valores para índice estrutural foram obtidos no menor teor de água (6,5 %) e com o aumento da pressão uniaxial aplicada, verifica-se uma diminuição dos índices estrutural do solo. Semelhante ao solo com a densidade de 1,0 apresentou também os menores valores de índice estrutural no maior teor de água e a mesma tendência em diminuir os índices à medida em se aumenta a pressão aplicada.

Tanto para a densidade 1,0 como 1,31, o índice de vazios estrutural do solo, reduziu com o aumento do teor de água do solo. Exceto na densidade de 1,0, em que o maior valor para o índice de vazios, foi verificado com um teor de água de 13.5% (Figura 5A).

Houve uma variação nos índices de vazios estrutural do solo, de acordo com o aumento da pressão uniaxial aplicada e com o aumento teor de água.

Isso nos traz um alerta sobre os efeitos negativos que podem ocorrer no solo, se este for tratado de maneira inadequada. Se o solo estiver com sua estrutura alterada, operações inadequadas, poderão afetar sua porosidade, tornando o solo mais denso, o que com uma menor pressão aplicada sobre este, será suficiente para reduzir os índices de vazios estrutural do solo, tornando-o inadequado para o bom crescimento e desenvolvimento das plantas, quando comparado com o mesmo solo em condições naturais e com o mesmo teor de água, afirma Oliveira et al, (2003).

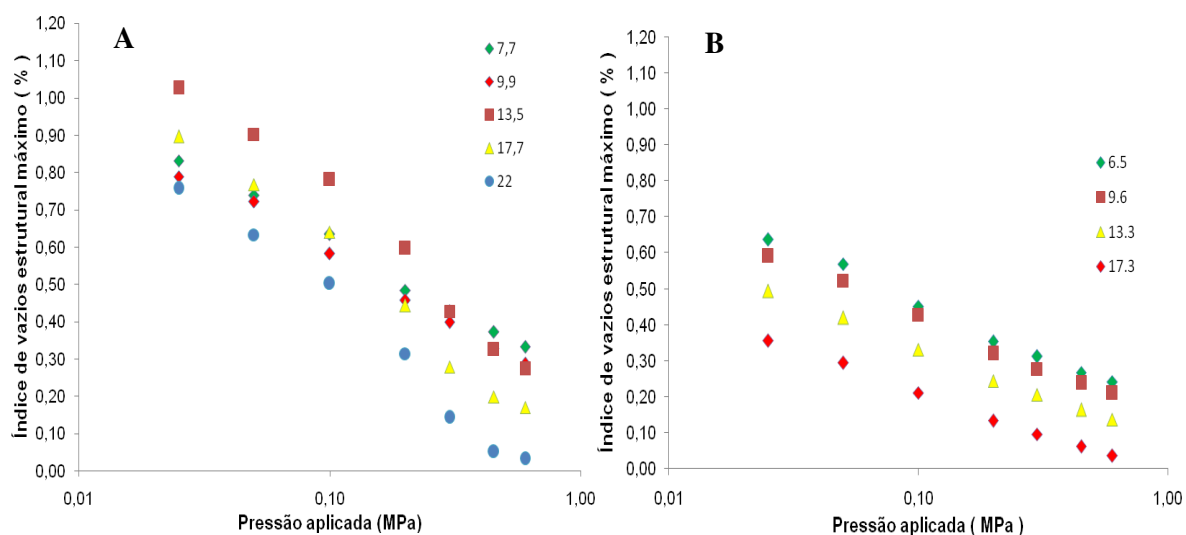


Figura 5 Índice de vazios estrutural do solo cultivado com feijão com densidade de 1,0 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) (A) e com densidade de 1,31 (B) ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) após a pastagem.

4.5.4 Índice de vazios estrutural do solo cultivado com milho com densidades de solo 1,0 e 1,32 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) na camada de 0,0 – 0,05m.

Os dados obtidos para o solo cultivado com milho e com densidade de 1,0 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Figura 6A), demonstram que os maiores valores de índice de vazios estrutural, foi registrado no menor teor de água no solo (7,1%). Com o aumento da pressão aplicada, nota-se um decréscimo nos valores, até chegar um ponto crítico, a partir do qual não se observa mais a diminuição dos valores para essa pressão máxima. Os menores valores para índice de vazios estrutural, nessa densidade, foram obtidos com um teor de água de 22,8%, que de forma semelhante, diminui seus valores à medida em que se aumenta a pressão

aplicada sobre esse solo. Com esse teor de água (22,8 %), a partir de 0,45 MPa, os valores, chegam a zero, indicando que não existe mais nenhum espaço vazio no solo, pois todo ar foi expulso pela força exercida pela pressão nele aplicada.

No mesmo solo com densidade de $1,32 \text{ g cm}^{-3}$ (Figura 6B), os maiores valores para índice de vazios estrutural, foram obtidos com o menor teor de água (7,7 %), valores esses que foram diminuindo com o aumento da pressão aplicada. Da mesma forma que o solo com densidade de $(1,0 \text{ g cm}^{-3})$, os menores valores para índice de vazios estrutural inicial foi obtidos com o teor de água de 14,3%, diminuindo de acordo com o aumento da pressão aplicada.

Verifica-se que nas duas densidades, para cada solo, que houve um comportamento semelhante com os valores de índice de vazios estrutural, diminuindo com o aumento dos teores de água do solo.

Os valores da pressão aplicada, que podem reduzir o índice estrutural máximo do solo, variou de acordo com teor de água e com a densidade do solo, sendo função também com o índice de vazios inicial do solo (Figuras 5A e 5B). Com a aplicação de pressões maiores, observa-se mudanças nos valores de índice de vazios estrutural, esse fato se deve ao aumento do número de contatos entre cada agregado, ocorrendo a quebra desses agregados, fazendo com o solo adquira uma estrutura massiva e mais resistente à rupturas.

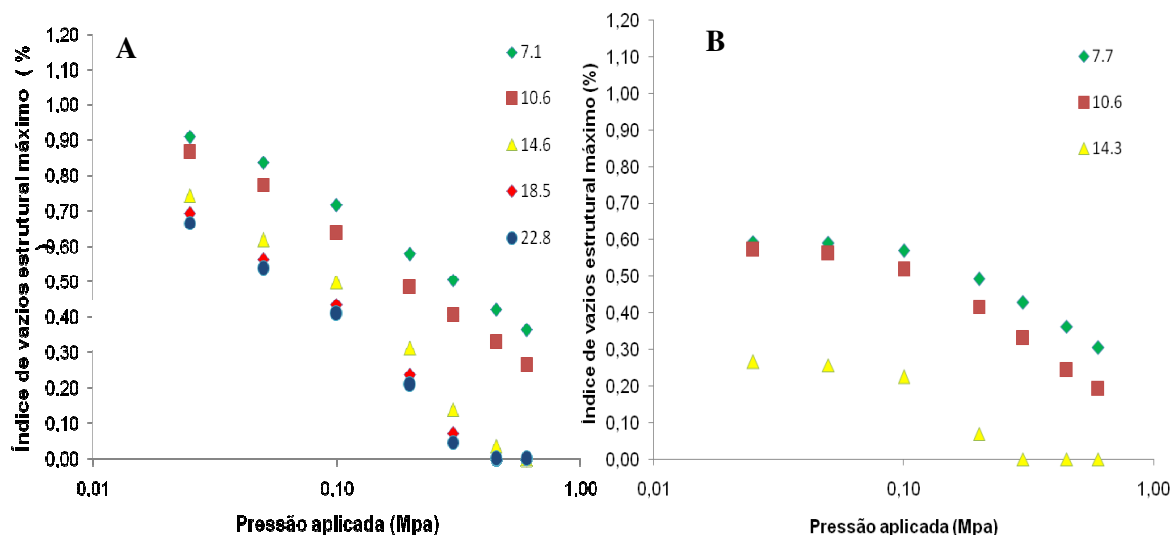


Figura 6 Índice de vazios estrutural do solo cultivado com milho com densidade de $1,0$ (A) e com densidade de $1,32$ (B) (g cm^{-3}) após pastagem.

4.7 Índice de compressão

4.7.1 Índice de compressão do solo cultivado com feijão (A) e com milho (B) após pastagem e com duas densidades do solo na camada de 0,0 – 0,05m.

As Figuras. 7A e 7B mostram as curvas de índice de compressão do solo em função do teor de água para os solos cultivados com feijão e milho após pastagem e com duas densidades do solo.

Verifica-se que para ambos os tipos de cultivo, o valor de índice de compressão aumentou com o aumento do teor de água até 13,8% para o solo cultivado com feijão após pastagem na densidade de $1,0 \text{ g cm}^{-3}$ (Figura 7A), enquanto que o solo cultivado com milho após pastagem apresentou um aumento de índice de compressão, com o aumento do teor de água até 14,4% (Figura 7B). A partir desses teores de água (13,8 e 14,4%), houve um ligeiro decréscimo no índice de compressão em ambos os solos. Nesse intervalo, os dois solos, apresentaram o mesmo comportamento.

Para o solo cultivado com feijão após pastagem na densidade ($1,31 \text{ g cm}^{-3}$), (Figura 7A) verifica-se pequeno decréscimo no índice de compressão com o aumento do teor de água do solo, enquanto que no solo cultivado com milho após pastagem, houve um aumento no índice de compressão, com o aumento do teor de água do solo de 7,7 até 10,9% (Figura 7B), reduzindo o seu índice de compressão, após esse intervalo.

Para um mesmo teor de água, o solo cultivado com milho após pastagem, com densidade ($1,32 \text{ g cm}^{-3}$), apresentou maior índice de compressão que no solo cultivado com feijão após pastagem com densidade do solo ($1,31 \text{ g cm}^{-3}$).

Este resultado revela uma tendência à maior deformação do solo com o aumento do teor de água, e sua menor densidade, de forma que o solo nesse instante, apresenta maior espaço poroso disponível para deformação, segundo Oliveira et al, (2003). Com o aumento da densidade do solo e do teor de água, nota-se uma menor deformação no solo, devido, o que pode ser explicado pela maior resistência de seus agregados, pelo maior teor de carbono orgânico na camada de 0,0 – 0,05m de profundidade.

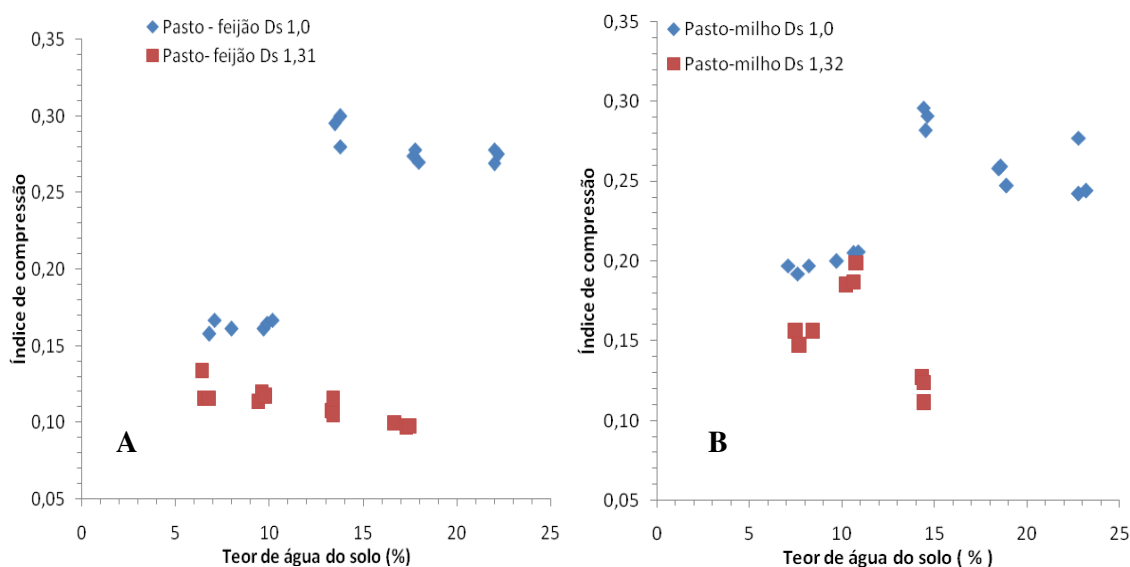


Figura 7 Índice de compressão dos solos cultivados com feijão com densidades do solo de 1,0 e 1,31 g cm⁻³ (A) e com milho, com densidades do solo de 1,0 e 1,32 g cm⁻³ (B) após pastagem.

4.8 Resistência mecânica do solo à penetração

4.8.1 Resistência mecânica do solo à penetração no cultivo do feijão, antes e após a cultura (A) e com milho, antes e após a cultura (B), épocas 1 e 2 respectivamente.

Observa-se na Figura 8A os valores de resistência do solo à penetração, antes (época 1) e após a implantação da cultura do feijão (época 2). Os pontos em vermelho representam os valores médios de resistência mecânica do solo à penetração antes da implantação da cultura do feijão. A resistência mecânica do solo à penetração apresenta valores médios de 0,43 MPa na camada de profundidade 0,0 – 0,05m. A partir dessa profundidade, os valores médios aumentaram chegando a 2,02 MPa na profundidade de 0,10m. Nas profundidades maiores 0,10m, observa-se um decréscimo nas médias de resistência, principalmente a partir de 0,15m. Resultados semelhantes foram obtidos por Lanza Nova (2007) e Lima et al (2009). Valores de resistência do solo à penetração, entre 1,0 e 3,5 MPa, são restritivos ao desenvolvimento radicular das culturas, segundo Tavares Filho et al, (2001).

O maior valor para resistência mecânica do solo à penetração foi verificado na camada de 0,0 – 0,10m (2,02 MPa), ainda pode ser considerada baixa, mas pode ocorrer pouca limitação ao crescimento radicular. Tal fato é confirmado por Goedert (2002).

Já os pontos na cor verde representam os valores médios de resistência do solo à penetração após a implantação do sistema. Observa-se redução dos valores médios de resistência, 0,12 MPa na camada 0,0 – 0,05m. Na profundidade de 0,10m a redução foi ainda maior, chegando à média de 0,46 MPa nessa profundidade. Nessa fase, os valores médios comparados com os obtidos anteriormente, só apresentaram-se maiores a partir da camada de 0,15m.

A redução dos valores de resistência à penetração indica uma maior facilidade das raízes penetrarem no solo, chegam mais facilmente a regiões mais profundas, facilitando absorção de nutrientes e conseqüentemente, melhor desenvolvimento da cultura.

A Figura 8B mostra os valores de resistência do solo à penetração, antes (época 1) e depois da implantação da cultura (época 2), representados pelos pontos em vermelho e verde, respectivamente.

Os valores médios de resistência do solo à penetração aos 0,0 5m de profundidade, antes da implantação da cultura, foram de 0,36 MPa. A partir dessa profundidade, houve um aumento nos valores médios de resistência do solo a penetração, que chegaram a 1,88 MPa no 0,10m de profundidade. A partir dessa profundidade, nota-se um decréscimo nos valores médios até os 0,25m. Voltando a aumentar os valores médios, em profundidades maiores que 0,25m.

Os pontos em verde representam os valores médios de resistência do solo à penetração após a implantação da cultura do milho, onde observa-se uma grande redução nos valores, na camada superficial do solo (0,0 – 0,05m), com valor médio em 0,05m de 0,17 MPa, valor médio anteriormente registrado para essa mesma profundidade foi de 0,36 MPa. Na camada de 0,0 – 0,10m, houve também uma drástica redução nos valores médios de resistência à penetração, chegando a 0,62 MPa, enquanto que na mesma profundidade anteriormente o valor registrado foi de 1,88 MPa.

Ambos os solos apresentaram um comportamento semelhante, diminuindo os valores médios de resistência nas camadas superficiais e depois aumentando os valores com o aumento da profundidade. A resistência mecânica do solo à penetração, tende a aumentar, a medida em que se aumenta a densidade do solo, pois com o aumento desta, há uma diminuição dos espaços porosos do solo, dificultando assim, a penetração da haste do penetrógrafo, afirma Cunha et al, (2002). Ainda segundo esses autores, há uma tendência

da resistência mecânica do solo à penetração diminuir com o aumento do teor de água do solo, pois decresce a atuação das forças de coesão entre as partículas do solo e o atrito interno, tornando-a altamente relacionada com o teor de água e densidade do solo.

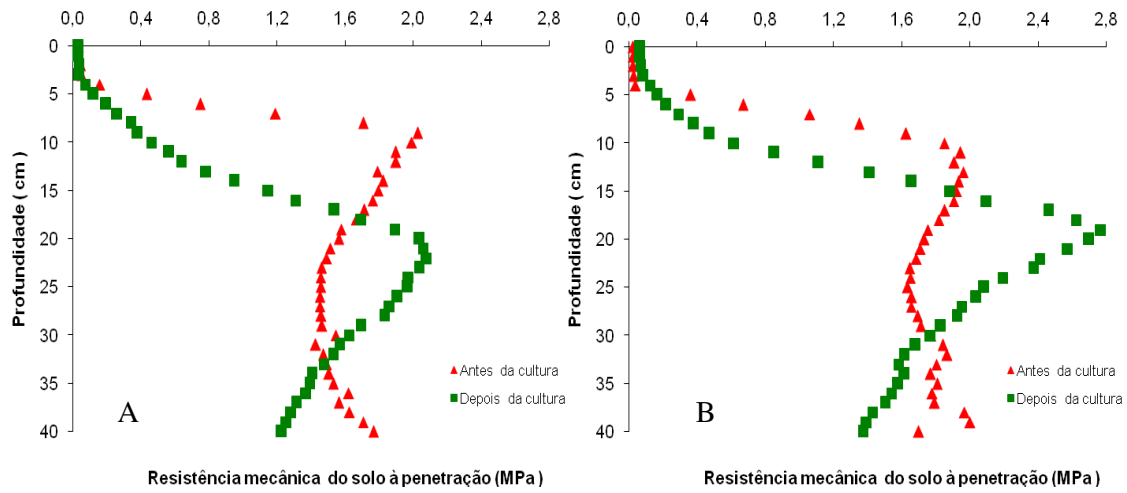


Figura 8 Resistência mecânica do solo à penetração no cultivo do feijão, antes e após a cultura (A) e com milho, antes e após a cultura (B), épocas 1 e 2 respectivamente.

5 CONCLUSÕES

O pastejo de bovinos em sistema de integração lavoura – pecuária, altera as características físicas do solo, aumentando significativamente a densidade do solo nas camadas de maior profundidade, no solo cultivado com milho após pastagem.

Com relação aos índices de vazios estrutural do solo, houve redução significativa para profundidades e também para épocas, no solo cultivados com milho e, aumento significativo para profundidade e para épocas no solo com cultivo de feijão.

A resistência mecânica do solo à penetração mostrou-se relacionada com o teor de água e com a densidade do solo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ANDREOLLA, V. R. M. Eficácia de sulcadores de uma semeadora-adubadora e suas implicações na cultura da soja e nos atributos físicos de um Latossolo sob integração Lavoura-pecuária. Cascavel, 2005. 147 f. **Dissertação de Mestrado** (Mestrado em Engenharia Agrícola – Engenharia de Sistemas Agroindustriais) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

ANDREOLLA, V.R.M. Integração lavoura-pecuária: atributos físicos do solo e produtividade das culturas do feijão e milho. Curitiba, 2010. 120f. **Tese de Doutorado** (Doutorado em agronomia – Produção Vegetal) Universidade Federal do Paraná, 2010.

ARGENTON J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29 p.425-435, 2005.

ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Soil cone penetrometer. In: *ASAE Standards 1999: standards engineering practices data*. 46th ed. St. Joseph, 1999. p.834-835 (ASAE S313.1).

ASSIS, R.L.; LAZARINI, G.D.; LANÇAS, K. P.; FILHO, A.C. Avaliação da resistência do solo a penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v29, n.4, p.558-568, 2009.

BALBINOT JR, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria v.39, n.6, p.1925-1933, 2009.

BEUTLER, N. A.; CENTURION, J.F.; Onã da Silva FREDDI, O.S.; ANDRIOLI, I. Efeito da compactação do solo na estabilidade de agregados e no conteúdo gravimétrico de água. **Acta Sci. Agron.** Maringá, v. 27, n. 2, p. 193-198, 2005.

BOENI, M. Proteção física da matéria orgânica em Latossolos sob sistemas com pastagens na região do Cerrado brasileiro. Porto Alegre, 2007. 136p. (**Tese de Doutorado**) Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.4, p.605-614, 2006.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba, SP. ESALQ – Departamento de Ciência do Solo, 1997, 137 p.

CARVALHO, A.J.A.; SOUZA, E.H.; MARQUES, C.T.S.; GAMA, E.V.S.; NACIF, P.G.S. Caracterização física dos solos dos quintais agroflorestais e cultivos monotípicos na região de Amargosa, Bahia. **Rev. Bras. de Agroecologia**. vol.2, n.2. p. 941-944. 2007.

CASSOL, L.C. Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavourapecuária em semeadura direta com calcário na superfície. Porto Alegre, 2003.143p. **Tese** (Doutorado em Agronomia - Ciência do solo) Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; SILVA, F. R. Propriedades Físicas do solo em sistemas de manejo na Integração Agricultura-Pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p. 235-244, 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 da cerrado. In: **Anais. II Simpósio Regional de Geografia**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia – MG. 2003.

COSTA, J.L.S.; RAVA, C.A. Influência da braquiária no manejo de doenças do feijoeiro com origem no solo. In: KLUTHCOUSKI, J.;STONE, L.F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 523-534.

CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, v.10, n.1-4, 2002.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 412p. 1999.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; CECATO, U.; BARBERO, L. M.; LUGÃO, S. M. B.; COSTA, M. A. T. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.43, n.11, p.1583-1590, nov. 2008.

FIDALSKI, J., TORMENA, C. A., GONSALVES, A.C.A., OLIVEIRA JR, R.S. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e da taxa de estratificação de carbono orgânico do solo em um Latossolo Vermelho eutroférico. **Ciência Rural**, Santa Maria. v.36, p 1773-1779, 2006.

FLORES, J.P. C. Atributos de solo e rendimento de soja em um sistema de integração lavourapecuária com diferentes pressões de pastejo em plantio direto com aplicação de calcário em superfície. **Dissertação** (Mestrado em Ciência do solo) Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 74p.2004.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, C. F. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, p.223 – 227, 2002.

GUERIFF, J. Compactage d'un massif d'agregats: effet de la teneur en eau et de la pression appliquee. **Agronomie**, v. 2, p. 287–294. 1982.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: Editora UPF, 212p. 2008.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um latossolo roxo. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 959-964, 2000.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. Desempenho de culturas anuais sobre palhada de braquiária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p. 499-522, 2003.

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

LAURANI, R. A.; RALISCH, R.; FILHO, J.T.; SOARES, D.S.; RIBON, A. A. distribuição dos poros de um Latossolo Vermelho Eutroférico na fase de implantação de um sistema de plantio direto. *Engenharia agrícola*. Jaboticabal, v.24 n.2, p.347-354, 2004.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.3, 2004.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V.P.B. Least limiting water range: a potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. **Soil & Tillage Research**, v.88, p.279-285, 2006.

LIER, Q.J.V. Física do solo. In LIER, Q.J.V. (Ed). Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 298p. 2010.

LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; LEÃO, T. P.; Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado **Revista Brasileira de Ciência do solo**. v.28 p.945-951, 2004

LIMA, R.P.; LEON, M.J.; GONZAGA, B. A. B. S.; SANTOS, R. F. Resistência a Penetração e Densidade do Solo como Indicativos de Compactação do Solo em Área de Cultivo da Cana-de-Açúcar. In: **XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Anais**. SBCS, Fortaleza - CE, 2009.

LIMA, P. P.; PRADO, R.J.; SCHROEDER, N.; BRAVIN, P. M.; BOLDT, H. R.; NASCIMENTO, J. M. Avaliação da Densidade de Partículas do Solo em Diferentes Áreas de um Latossolo Vermelho – Amarelo da Zona da Mata de Rondônia. In: **FERTBIO. Anais**. Guarapari – ES, 2010.

LUNARDI, R. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema de integração lavoura-pecuária em função de espaçamento entre fileiras, métodos e intensidade de pastejo, Porto Alegre, 2005, 136 p. **Dissertação de Mestrado** (Mestrado em Zootecnia – Plantas Forrageiras) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2005.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Campo Grande, v.38, p.133-146, 2009.

MELO, D. Compactação dos solos nas camadas agricultáveis nos sistemas de plantio direto e cultivo mínimo. Cascavel, 2006. 73p. **Dissertação de Mestrado** (Mestrado em Engenharia Agrícola – Engenharia de Sistemas Agroindustriais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

MENDES, F.G.; MELLONI, E.G.P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; RESCK, D. V. S. Compressibilidade de um LATOSSOLO Vermelho argiloso de acordo com a tensão de água no solo, uso e manejo **R. Bras. Ci. Solo**, v.27, p.773-781, 2003.

PEREIRA, J. O., DEFOSSEZ, P.; RICHARD, G. Soil susceptibility to compaction by wheeling as a function of some properties of a silty soil as affected by the tillage system, **European Journal of Soil Science**, n. 58, p. 34-44, 2007.

PIACENTINI, S. A. S.; Densidade do solo e teores de matéria orgânica em quatro formas de uso de um Latossolo Vermelho – Amarelo em Rondônia. Trabalho de conclusão de curso, para obtenção do título de bacharel em Agronomia. UNIR, 2008.

PINTO, C. Curso básico de mecânica dos solos. São Paulo: **Oficina de Textos**, 247 p. 2000.

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. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.5 p.49-134, 2007.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ci. Amb.**, v.27 p.29-48, 2003.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.& BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32, p11-21, 2008.

SARMENTO, P.; RODRIGUES, L.R. de A.; CRUZ, M.C.P. da; LUGÃO, S.M.B.; CAMPOS, F.P. de; CENTURION, J.F.; FERREIRA, M.E. Atributos químicos e físicos de um Argissolo cultivado com *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio, sob lotação rotacionada e adubado com nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32, p.183-193, 2008.

SECCO, D.; ROS, C.O.; SECCO, J.K.; FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.29, p.407-414, 2005.

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

SILVA, R.R.; SILVA, M. L.N.; FERREIRA, M. M.; Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do Alto do Rio Grande MG. **Ciência agrotécnica**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 719-730, 2005.

SILVA, V.R. Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação. **Tese**. Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós- Graduação em Agronomia, Santa Maria. 171p., 2003.

SISVAR, Versão 5.0. Copyright. Daniel Furtado Ferreira, 1999 – 2003.

SOANE, B.D. & VAN OUWERKERK, C. Soil compaction problems in world agriculture. In: Soil Compaction and Crop Production. Developments in Agricultural Engineering, 11 (eds B.D. SOANE & C. VAN OUWERKERK), p. 1–21. **Elsevier**, Amsterdam. 1994.

SPERA, S. T., SANTOS, H. P., FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 37-44, 2010.

STENGEL, P. Analyse de la porosité . Rapport, séminaire CEE –Agrimed, **INRA Science du Sol**, Avignon, 1983.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M.C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B.; Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 25, p.725-730, 2001.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI J. Propriedades físicas e taxas de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, p.1023-1031, 2004.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja. Londrina: **Embrapa Soja**, 58 p. 1999.

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

VZZOTTO, V.R.; MARCHEZAN, E.; SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do Solo de várzea. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.6, p.965-969, 2000.

WEISS, A. Projeto, construção e validação do sistema de compressão uniaxial para estimativa e compactação do solo. Cascavel, 2005. 84p. **Dissertação de Mestrado** (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

APÊNDICE

Apêndice 01 - Resumo da análise de variância para densidade do solo com a cultura do milho

FV	GL	QM	Fc	Pr>FC
Prof	2	0,081004	20,532	0,0001*
Època	1	0,006337	1,606	0,2243 ^{NS}
Prof*Època	2	0,001463	0,371	0,6964 ^{NS}
Erro	15	0,003945		
Total Corrigido	23			
CV	4,42			
Média Geral	1,44208			

Apêndice 02 - Resumo da análise de variância para densidade do solo com a cultura do feijão

FV	GL	QM	Fc	Pr>FC
Prof	2	0,018317	3,002	0,0800 ^{NS}
Època	1	0,003038	0,498	0,4912 ^{NS}
Prof*Època	2	0,008150	1,336	0,2925 ^{NS}
Erro	15	0,006101		
Total Corrigido	23			
CV	5,21			
Média Geral	1,49791			

Apêndice 03 - Valores dos teores de água do solo no momento da determinação da resistência mecânica do solo à penetração, para o solo cultivado com feijão e milho antes e depois da implantação da cultura.

Teor de água (%)				
Camada	Solo cultivado com feijão		Solo cultivado com milho	
	Antes	Depois	Antes	Depois
0,0 – 0,05	9,62	8,00	10,86	14,52
0,05 – 0,10	9,29	9,75	9,76	17,11
0,10 - 0,20	10,50	9,63	8,13	18,21