



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – POSAGRO

DIEGO LIMA DE SOUZA CRUZ

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE ARGISSOLO AMARELO SOB FLORESTA E SAVANA
NATURAIS E CULTIVADOS COM PASTAGEM EM RORAIMA**

BOA VISTA – RR

2012

DIEGO LIMA DE SOUZA CRUZ

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE ARGISSOLO AMARELO SOB FLORESTA E SAVANA
NATURAIS E CULTIVADOS COM PASTAGEM EM RORAIMA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, com área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Dr. José Frutuoso do Vale Júnior

Boa Vista – RR

2012

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)

Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

C957a Cruz, Diego Lima de Souza.

Atributos físicos de Argissolo Amarelo sob floresta e savana naturais e cultivados com pastagem em Roraima / Diego Lima de Souza Cruz. - Boa Vista, 2012.

94 p. : il.

Orientador: Prof^o. Dr. José Frutuoso do Vale Júnior.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

1 – Manejo do solo. 2 – Amazônia. 3 – Pastagem. I - Título. II – Vale Júnior, José Frutuoso (orientador).

CDU- 631.445.37

DEDICATÓRIA

Ao meu grande pai Hélio Tupinambá de Souza Cruz por tudo que me ensinou, principalmente a humildade. Gostaria de tê-lo presente no momento da defesa deste trabalho, mas Deus precisou de seus atributos e o chamou para o serviço na esfera espiritual. Fique bem paizinho, pois sua tarefa aqui na terra foi muito bem cumprida, “concordas ou sem cordas”.

AGRADECIMENTOS

À Deus por toda força e misericórdia que nos oferece para continuar evoluindo espiritualmente. À minha mãe Adelina por ser sempre compreensível e nunca me deixar desistir, ao Pablo por me ensinar a ser mais esperto, à Paloma por sempre nos animar com suas histórias e ao Gustavo por sua inabalável amizade, estando sempre disposto a encarar os trabalhos mais difíceis apenas por companheirismo. À minha esposa Anna Bárbara por suportar as mais difíceis provas dessa existência terrestre ao meu lado, sendo muitas vezes inabalável frente aos problemas e me ensinando a ter fé. Ao professor Frutuoso por ter se tornado um segundo pai, não medindo esforços para ajudar nas situações de trabalho e situações pessoais, sempre com um conselho sábio que muito me ajudou nessa conquista. Ao aluno Pedro por ter contribuído de forma significativa na coleta de dados e troca de experiências. Aos membros da banca, professor Wellington Farias e os pesquisadores Ciro Augusto e Roberto Dantas que disponibilizaram seu tempo para contribuir neste humilde trabalho com sugestões e pontos de vista que muito me ensinaram.

À Universidade Federal de Roraima e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia que contribuíram para o desenvolvimento, realização e publicação deste trabalho. Ao REUNI pela concessão da bolsa e incentivo à docência.

A virtude

A virtude, no mais alto grau, é o conjunto de todas as qualidades essenciais que constituem o homem de bem. Ser bom, caritativo, laborioso, sóbrio, modesto, são qualidades do homem virtuoso. (...)

(...) Afastai, porém, de vossos corações tudo o que seja orgulho, vaidade, amor-próprio, que sempre desordenam as mais belas qualidades. (...)

(O Evangelho Segundo o Espiritismo)

RESUMO

O estado de Roraima apresenta uma ampla diversidade geomorfológica e pedológica, os quais são resultado da combinação dos fatores de formação do solo. O Estado pode ser dividido em três grandes ecossistemas: as savanas, as florestas e as campinaranas, todos com características bastante contrastantes. A atividade pecuária está inserida nessa diversidade, sendo muitas vezes associada à degradação física do solo. Dentro deste contexto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar e comparar as propriedades físico-hídricas do Argissolo Amarelo sob os ecossistemas de savana e floresta natural, convertidos em sistema de pastagem. Os tratamentos foram áreas representativas de savana natural e savana convertida em pastagem, floresta natural e floresta convertida em pastagem. O delineamento foi em blocos casualizados em esquema de parcela subdividida (tratamentos e profundidades), as propriedades avaliadas foram: RP, Densidade do Solo e de Partículas, Granulometria, CAD, Retenção de Umidade, Grau de Floculação da Argila, Porosidade Total, Umidade Gravimétrica, Argila Dispersa, DMP, DMG, Índice de Sensibilidade, Classes de Agregados e MO. A granulometria foi diferente em savana e floresta, sendo mais arenosa na savana, o que pode ter influenciado nos demais atributos. A relação silte/argila foi baixa, evidenciando o elevado estágio de intemperismo desses solos. A densidade do solo foi superior nas duas áreas de Savana, não havendo diferença entre Savana Convertida (SC) e Savana Natural (SN) em nenhuma das profundidades. A conversão da Floresta Natural (FN) provocou aumento significativo da DS apenas na camada superficial, sendo que na profundidade não houve diferença entre FN e Floresta Convertida (SC). O valor médio de DP encontrado foi de 2,66 g cm⁻³ característico de solos caulíníticos. A RP variou em função das áreas e da profundidade, o maior valor foi encontrado na SC e o menor na área de FN, houve influencia da conversão neste atributo. A Umidade do solo apresentou diferenças entre os tratamentos, entretanto, a umidade não variou significativamente com a profundidade em nenhum dos tratamentos. A Porosidade Total foi superior na FN e inferior na Savana Convertida, houve diminuição da porosidade com a profundidade. A conversão da floresta não afetou o tamanho dos agregados em nenhuma das profundidades, não havendo efeito prejudicial à estabilidade de agregados com a instalação da pastagem, o mesmo não ocorreu na área de savana. A CAD foi maior na Floresta Natural apenas na profundidade de 0 a 10 cm. Nesta mesma profundidade não diferiram os demais tratamentos. A retenção de umidade foi maior onde ocorreu menor densidade e maior porosidade, sendo também relacionada com a profundidade e matéria orgânica. A matéria orgânica do foi superior nas áreas de Floresta, especialmente na FN que diferiu da FC apenas na profundidade de 0 a 10 cm, enquanto nas as áreas de savana não houve diferença em nenhuma das profundidades. Concluiu-se que a conversão dos ambientes naturais em pastagem provocou alterações significativas em alguns atributos físico-hídricos e as áreas de savana mostraram-se menos sensíveis às alterações provocadas pela implantação da pastagem.

Palavras – chave: Manejo do solo, Amazônia, Pastagem.

ABSTRACT

The Roraima state shows a wide geomorphologic and soil diversity, which are results of the soil formation factor combinations. The state can be divided in three great ecosystems: the savannas, the forests and campinaranas, each one with contrasting characteristics. The livestock activity is inserted in this environmental diversity, being many times associated with the soil physics degradation. The present study was made in this context, the objective was to evaluate and compare the soil physics properties of an Yellow Argisol under savanna and forest natural areas, converted in pasture system. Representative areas of those ecosystems were selected in natural e converted order. The delineation were a randomized blocks in Split plot scheme (treatments and depth), being evaluated the following physical properties: penetration resistance (PR), soil density (SD) and particle density (PD), texture, available water capacity (AWC), moisture retention (MR), clay flocculation degree, total porosity (TP), gravimetric moisture, dispersed clay, aggregate stability, sensitivity index and soil organic matter. The texture was different between savanna and forest, being sandier on savanna, this may influenced the other attributes. The silt/clay relation was low, evidencing the high weathering state of these soils. The soil density was superior in both savanna areas, don't showing differences between Converted Savanna (CS) and Natural Savanna (NS) in any depth. The conversion of the Natural Forest (NF) caused an increase of SD only on the superficial depth, therefore not having difference between NF and Converted Forest (CF). The average PD value was $2,66 \text{ g cm}^{-3}$ that is typical of kaolinite. The PR varied in function of the areas and the depths, the greater value was observed on CS and the minor on the NF, having influence of the conversion in this attribute. The moisture values presented differences between the treatments; however, this attribute doesn't vary with the depth in any treatment. The TP was superior on NF and inferior on CS, having TP decrease with the depths. The forest conversion doesn't affected the aggregate size in any depths, having no harmful effects to the aggregate stability with the pasture installation, the savanna areas doesn't show the same reaction. The AWC was only superior on the NF at 0 – 10 cm depth. The other treatments did not differ at this same depth. The MR was greater where occurred minor density and major porosity, being also related with the depth and organic matter. This attribute was superior on the forests areas, especially at NF, that differed from the CF only at the 0 – 10 cm depth. Among the savanna areas were not observed differences in any depths. It was concluded that the natural environment conversions at pasture systems caused significant changes in some physical attributes and the savanna areas were less sensitive to the changes that were caused to the pasture deployment.

Key words: Soil Management, Amazon, Pasture.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	Geral.....	12
2.2	Específicos.....	12
3	REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1	Qualidade Física do Solo.....	12
3.2	O Argissolo Amarelo.....	13
3.3	Propriedades Físico-Hídricas.....	15
3.3.1	Densidade.....	15
3.3.1.1	Densidade do Solo (DS).....	15
3.3.1.2	Densidade de Partículas (DP).....	16
3.3.2	Resistência Mecânica à Penetração (RP).....	17
3.3.3	Porosidade Total.....	18
3.3.4	Textura.....	19
3.3.5	Umidade do Solo.....	19
3.3.6	Curva de Retenção de Água (Cc e Pm).....	20
3.3.7	Estabilidade de Agregados.....	20
3.4	Os Ecossistemas Naturais Estudados.....	22
3.4.1	As Savanas de Roraima.....	22
3.4.2	A Floresta Amazônica.....	23
3.4.3	Manejo do Solo na Conversão da Vegetação Natural em Pastagem.....	24
4	MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1	Localização da Área de Estudo.....	26
4.2	Caracterização da Área de Estudo.....	26
4.2.1	Solo.....	26
4.2.2	Clima.....	27
4.2.3	Vegetação e Histórico das Áreas.....	27
4.2.4	Amostragem.....	28

4.2.5	Delineamento.....	28
4.3	Análises Físico-Hídricas do Solo.....	32
4.4	Análise Estatística.....	35
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.1	Granulometria.....	35
5.2	Densidade do Solo (DS) e Densidade de Partículas (DP).....	38
5.3	Resistência à Penetração (RP).....	43
5.4	Umidade Gravimétrica e Conteúdo de Água em Volume (θ).....	48
5.5	Porosidade Total.....	52
5.6	Estabilidade de Agregados.....	55
5.7	Capacidade de Água Disponível (CAD) e Retenção de Umidade (RU).....	64
5.8	Matéria Orgânica do Solo (MOS).....	69
6	CONCLUSÕES.....	72
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
8	ANEXOS.....	81

1 INTRODUÇÃO

A diversidade pedológica do estado de Roraima é resultado da combinação dos agentes ativos do intemperismo, sendo encontrados praticamente todos os tipos de relevo, desde plano e abaciado até montanhoso, com altitudes variando de 90 a 3000 m e que determinam padrões de drenagem marcantes a exemplo do hidromorfismo. Ocorrem materiais de origem como aluviões, sedimentos argilo-arenosos, sienitos, arenitos, siltitos, granitos, gnaises, rochas vulcânicas ácidas, básicas (basalto) e diabásios. Sobre essa diversidade de materiais de origem e de geomorfologia atuam as elevadas pluviosidade e temperatura, além do tipo de vegetação característica de cada ecossistema do estado (MELO et al., 2004).

Roraima pode ser dividido em três grandes ecossistemas, o domínio das florestas, das Campinaranas e o domínio das Savanas. Esses ambientes apresentam características bastante contrastantes quanto aos aspectos geológicos, geomorfológicos, vegetação e pedologia (VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010). As áreas de floresta mais extensas encontram-se nas porções mais úmidas ao sul e ao oeste do Estado, bem como nas áreas de relevo mais elevado ao norte, representadas pelas serras de Parima e Pacaraima (BRASIL, 1975). As savanas ocupam uma área de aproximadamente 43.000 km² situadas na porção nordeste do Estado. Fatores como o relevo plano a suave ondulado, geologia de sedimentos pré-intemperizados da formação Boa Vista, rochas vulcânicas básicas e ácidas e a grande diversidade e variabilidade pedológica, distingue esse ecossistema do Cerrado do Planalto Central do Brasil. (VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010).

Nos últimos anos a substituição dos ecossistemas naturais por pastagem tem-se intensificado na Amazônia. Segundo CAMARÃO; SOUZA FILHO (2001) as áreas de pastagem nativa foram por muitos anos consideradas como terras marginais, de pouco potencial de utilização para as atividades agrícolas. O pensamento predominante em relação a essas áreas era de que a vegetação precisava ser substituída por outra para se obter viabilidade econômica.

Para Salimon (2003) ao transformar esses ecossistemas naturais em áreas produtoras de alimentos (agricultura, pecuária, por exemplo), alteram-se características químicas, físicas e biológicas do solo, água e atmosfera, devido às mudanças no uso da terra. No caso da conversão de floresta para pastagens, este autor verificou maiores fluxos de emissão do CO₂ do solo para a atmosfera nos pastos, mas conclui que somente esse dado não é suficiente para caracterizar a degradação do solo.

As condições físicas do solo alteram direta e indiretamente a produção vegetal e a qualidade ambiental. Por isso, solos com bom índice de agregação e bem manejados funcionam adequadamente para manter o balanço equilibrado de ar e água, a ciclagem de nutrientes e o crescimento do sistema radicular das plantas (REYNOLDS et al., 2002). Essa é uma condição dinâmica, dependente das características pedogenéticas do solo e fortemente influenciada pelas condições de uso e manejo (TORMENA et al., 2002).

Nas áreas de floresta do sul do estado de Roraima, o manejo para a abertura da “roça” ou pasto envolve a derrubada, seguida pela queima do material vegetal remanescente. A predominância na atividade rural é da pecuária extensiva com bovino de corte, com pastagens produtivas nos primeiros anos em detrimento dos estoques de matéria orgânica do solo. Com o decorrer dos anos, o solo perde sua capacidade produtiva e o pecuarista busca a abertura de novas áreas, que são submetidas novamente ao mesmo manejo, contribuindo para o desmatamento. Para Neves Júnior (2008) esse modelo de ocupação é comum na Amazônia, somando-se a isto o emprego de baixo nível tecnológico e consequente perda de produtividade.

Na savana ocorre um manejo de pastagem diferente, porém não menos degradante. Neste ecossistema o extrato arbóreo não representa impedimento às atividades pecuaristas, mas sim a baixa qualidade das forrageiras nativas. O manejo da pastagem nesta área também envolve o fogo, porém com o intuito de renovar a folhagem das gramíneas em estado de dormência (CAMARÃO; SOUZA FILHO, 2001). Este tipo de manejo compromete seriamente a qualidade física do solo, pois se efetua a remoção da vegetação nativa, tornando-os muito mais vulneráveis às perdas por erosão.

Para a classe dos Argissolos, os fatores de formação se expressam de formas diferentes no ecossistema de savana e de floresta, conferindo características peculiares em cada ambiente. São escassas na literatura, mensurações e comparações das características químicas e físicas do Argissolo nestes dois ecossistemas, destacando-se os trabalhos realizados por Vale Júnior e RADAM BRASIL no estado de Roraima. Além disso, não se tem registros da magnitude das alterações provocadas pela fitofisionomia e pelo manejo da pastagem em ambientes de floresta e savana, nas propriedades físicas do Argissolo no estado de Roraima.

A avaliação da qualidade física do solo pode ajudar na sua classificação quanto à aptidão para um uso específico. Assim, o tipo de solo, o clima e as culturas envolvidas nos diferentes sistemas de manejo podem promover a degradação da qualidade física do solo, com reflexos ambientais e na produtividade das culturas.

A caracterização físico-hídrica do Argissolo Amarelo neste trabalho tem o intuito de consubstanciar uma ampla discussão sobre a sua capacidade de uso e manejo e compreender melhor as relações solo-paisagem por meio da interpretação dos resultados, além de questionar a eficiência dos modelos atuais de manejo das pastagens, contribuindo sobremaneira na elaboração de projetos voltados ao desenvolvimento agrícola sustentável da região.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar e comparar as propriedades físico-hídricas do Argissolo Amarelo sob os ecossistemas de Savana e Floresta Natural, convertidos em sistema de pastagem.

2.2 Específicos

- Comparar e relacionar os atributos físico-hídricos de solos sob savana e sob floresta com seus respectivos fatores de formação;
- Avaliar o grau de alteração provocado pela conversão de ecossistemas naturais para pastagem por meio dos atributos físico-hídricos.
- Indicar atributos físico-hídricos que refletem a qualidade do solo e sua relação com a exploração pecuária;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Qualidade Física do Solo

Para a Sociedade Americana de Ciência do Solo a qualidade física de um solo é a capacidade deste funcionar, dentro de um sistema nativo ou manejado, de forma a manter a produtividade vegetal e animal, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e suportar a saúde humana e habitacional (KARLEN et al., 1997).

Por sua vez Alves et al. (2007) afirmam que qualidade física está associada àquele solo que permite a infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas, responde ao manejo e resiste à degradação, permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas, culminando no desenvolvimento adequado dos vegetais.

Em termos agronômicos, os agroecossistemas e o manejo devem manter a capacidade do solo exercer as funções físicas para o crescimento e ancoragem das raízes, bem como favorecer o suprimento de água, nutrientes e oxigênio para as plantas. As perdas de solo por erosão, a redução dos teores de matéria orgânica e a compactação do solo são alguns dos processos que concorrem para a degradação física do solo (DORAN et al., 1996).

Para Neves Júnior (2008), as avaliações da qualidade física do solo deveriam ser feitas submetendo um solo sob vegetação nativa às explorações agrícolas desejadas quanto ao uso e manejo, enquanto se analisa periodicamente seus atributos físicos, desde que mantidos os critérios genéticos e topográficos relacionados com os fatores e processos de formação dos solos.

Ao estudar o solo em condições naturais, tornando-se conhecidas suas características e propriedades e a dinâmica da água, em que a vegetação original se desenvolve, pode-se usar este conhecimento para o planejamento da restauração de áreas degradadas, a partir da seleção de espécies nativas adaptadas ao solo e às condições ambientais dos locais destinados à revegetação, a fim de formar-se uma floresta mais próxima possível da nativa e restabelecer a biodiversidade regional e a qualidade do solo (JUHÁSZ et al., 2006).

3.2 O Argissolo Amarelo

A classe dos Argissolos possui uma característica chave para a sua identificação. É a mudança textural abrupta, que ocorre no horizonte diagnóstico B textural (Bt). A mudança textural abrupta consiste num considerável aumento no teor de argila dentro de uma pequena distância na zona de transição entre o horizonte A ou E, e o horizonte subjacente B. Grande aumento de argila total do horizonte A para o B, o suficiente para caracterizar uma mudança textural abrupta ou incremento de argila total do horizonte A para B, dentro de uma seção de controle definida em função da espessura do horizonte A, suficiente para que a relação textural B/A satisfaça uma das alternativas seguintes segundo EMBRAPA, (2009): a) nos solos com mais de 400g de argila/kg de solo no horizonte A, relação maior que 1,50; b) nos

solos com 150 a 400g de argila/kg de solo no horizonte A, relação maior que 1,70; c) nos solos com menos de 150g de argila/kg de solo no horizonte A, relação maior que 1,80.

Essa característica afeta diretamente a seleção e planejamento do sistema de uso a manejo para este solo, vez que o aumento abrupto de argila no horizonte Bt, aliado ao relevo característico, podem promover menor infiltração de água no perfil, aumentando os danos provocados pela erosão. Para VALE JÚNIOR; SCHAEFER (2010) a redução da infiltração de água no Bt promove maior enxurrada, em virtude da formação de um lençol freático suspenso, favorecendo a erosão.

Na savana os Argissolos podem apresentar alguns fatores de formação semelhantes aos do Latossolo Amarelo, como o material de origem composto por sedimentos pré-intemperizados, caulíníticos e pobres em óxidos de ferro, porém com o desenvolvimento de gradiente textural devido ao relevo. Em geral os Argissolos Amarelos estão associados aos Latossolos Amarelos na paisagem, sendo que, na região de savana, os Latossolos Amarelos posicionam-se nos topos mais aplainados onde há maior perda de argila por erosão diferencial, enquanto nas bordas e rampas se distribuem os Argissolos Amarelos (VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010).

A Formação Boa Vista é constituída por sedimentos predominantemente arenosos, inconsolidados, mal selecionados e níveis de cascalhos intercalados. Tem cerca de 30 m de espessura máxima e ocupa uma área de aproximadamente 20.000 km² em Roraima, estendendo-se pela república da Guiana com o nome de “White Sand Formation” lá chegando a mais de 100 m de profundidade. (BRASIL, 1975). No entanto, Vale Júnior em levantamento exploratório na região de domínio das florestas, observou fortes indícios de que os Argissolos de ambiente florestal são produto da intemperização de cangas lateríticas, não pertencendo à formação Boa Vista, ao contrário dos Argissolos sob savana.

No Argissolo o material mineral predominante é a caulinita que é pouco expansiva (argila de baixa atividade). Esta característica também afeta diretamente no manejo da adubação das culturas, pois solos caulíníticos geralmente possuem sérias limitações quanto à fertilidade, (MELO et al., 2004). Outros trabalhos com Argissolo em Roraima verificaram baixos valores de relação silte\argila, mostrando o elevado grau de intemperização destes solos (VALE JÚNIOR; SCHAEFER (2010); BENEDETTI (2011); SOUZA (2010)). Para esses autores, essas características físicas e químicas estão intimamente relacionadas com a natureza do material de origem desses solos, ou seja, sedimentos terciários (Plio-pleistoceno), pré-intemperizados, submetidos a processos pedogenéticos mais severos que os atuais, por

mais de um ciclo pedogenético e com o relevo extremamente plano, promovem a formação de um horizonte coeso na profundidade entre 30 a 60 cm, muito comum nestes solos.

3.3 Propriedades Físico - Hídricas

A compactação é um dos principais processos de degradação física dos solos em sistemas agropecuários. A compactação resulta da perda da estabilidade estrutural devido ao declínio da matéria orgânica associada ao intenso e frequente tráfego de máquinas no solo, quando o elevado teor de água do solo estabelece a redução na sua capacidade de suporte de carga. Um incremento na compactação do solo resulta em maior densidade, diminuição da porosidade total e alteração nas propriedades hidráulicas. Outros efeitos podem ser verificados em aspectos morfológicos da estrutura do solo e no aspecto e tamanho dos agregados, bem como em aumento do impedimento mecânico ao crescimento radicular (GIAROLA et al., 2007).

Os impactos do uso e manejo na qualidade física do solo têm sido quantificados, utilizando diferentes atributos físicos relacionados com a forma e com a estabilidade estrutural do solo, tais como densidade do solo, porosidade do solo, resistência do solo à penetração e taxa de infiltração, dentre outras. (COSTA et al., 2003; CRUZ et al., 2003; SILVA; FERREIRA, 2005; CAVALIERI et al., 2006; CARNEIRO et al., 2009).

3.3.1 Densidade

3.3.1.1 Densidade do Solo (DS)

Também conhecida como densidade global ou aparente, expressa a razão entre a massa de sólidos (MS) e o volume total (V). A densidade do solo inclui o espaço compreendido dentro dos agregados e entre os agregados, isto é, leva em consideração o espaço poroso do solo. Desta forma, a densidade reflete bem as condições estruturais do solo, pois, como os sólidos não são compressíveis, a maior quantidade de partículas no mesmo volume total só ocorre em detrimento do espaço poroso (FILHO et al., 2008).

A densidade do solo é o atributo mais sensível à instalação de sistemas produtivos, no entanto existe uma relação complexa com outros atributos físicos do solo que impedem uma

alteração drástica na DS, como o aumento da matéria orgânica em sistema de plantio direto (SPD). Os produtores mais tecnificados em Roraima aplicam a integração lavoura – pecuária em SPD, comumente alternando ciclos de plantios de soja e milho com pastagem. Por outro lado, o aumento da DS superficial neste sistema é constatada por diversos autores.

Massing et al. (2004) avaliaram a densidade máxima e relativa de solos sob plantio direto e constataram que a densidade do solo no campo depende também da textura, mas é em grande parte, influenciada pelo manejo adotado. Segundo Goedert (1985) a DS normalmente se apresenta entre 1,00 a 1,25 g cm⁻³ e 1,25 a 1,40 g cm⁻³ para solos argilosos e arenosos, respectivamente, podendo, os últimos, chegarem a 1,6 g cm⁻³, ou mesmo, até 1,8 g cm⁻³. Em solos dos tabuleiro costeiros, Paiva (1997) observou maiores valores de densidade do solo em um Argissolo Acinzentado, de textura areia franca a franco-arenosa e sem coesão, em comparação com um Latossolo Amarelo argissólico e um Argissolo Amarelo, ambos coesos e de textura média a argilosa.

Cruz et al. (2003) num trabalho realizado em Argissolo Vermelho, no Rio Grande do Sul, constataram que os valores de DS foram maiores no sistema plantio direto/pastagem (1,67 g cm⁻³) em relação ao campo nativo (1,60 g cm⁻³). Em estudos realizados com Argissolo Acinzentado no município de Pacajus (CE), Lima et al. (2005) encontraram valor de DS significativamente maior no horizonte coeso (1,75 g cm⁻³) do que no horizonte não-coeso (1,52 g cm⁻³), evidenciando a influência do horizonte coeso na ocorrência da maior DS.

3.3.1.2 Densidade de Partículas (DP)

A Densidade de Partículas (DP) ou densidade dos sólidos é a razão entre a massa total e o volume dos sólidos da amostra. Difere da densidade do solo por não contemplar o volume de poros e de água contido em um volume conhecido de solo. Esta propriedade fornece uma ideia aproximada da composição mineralógica do solo como também do seu conteúdo de matéria orgânica. É um atributo estático, tendo em vista que mudanças só são perceptíveis em um tempo bastante considerável, ou seja, é praticamente constante ao longo do tempo e independe da estrutura. Os valores mais frequentes são argilominerais (2,00 a 2,65 g cm⁻³), quartzo e feldspatos (2,5 a 2,6 g cm⁻³), caulinita (2,60 a 2,68) e horizontes orgânicos (1,1 a 1,4 g cm⁻³), (FILHO et al., 2008). Já Skopp (2002) cita os valores para o quartzo, um mineral predominante no solo, que tem o valor de 2,65 g cm⁻³ explicando porque esse valor é

frequentemente representativo para todos os solos. A gibsitita por sua vez tem um valor de 2,32 g cm⁻³, a biotita com 2,80–3,20 g cm⁻³ e a hematita com 4,80–5,30 g cm⁻³.

3.3.2 Resistência Mecânica à Penetração (RP)

É o índice de dureza do solo nas condições em que a medição for feita, envolvendo consistência e estrutura do solo. Solos arenosos com estrutura do tipo grãos simples apresentam pouca ou nenhuma resistência ao penetrômetro, enquanto que os mais argilosos tendem a apresentar maior resistência a este instrumento, o que é consequência do seu estado de agregação (AMARAL et al., 2001).

A RP é um atributo diretamente relacionado com a DS, desta forma quando a DS é elevada pode-se esperar altos valores de RP. Neste sentido, o trabalho de Cavalieri et al. (2006) indica os efeitos de sistemas de preparo do solo alteram de forma diversa as propriedades físicas. Eles verificaram que a resistência do solo à penetração foi influenciada pelos sistemas de preparo e pela profundidade, com maior magnitude nos sistemas de plantio sem revolvimento do solo e de preparo mínimo. Afirmaram ainda que solos com RP maior 4,9 MPa já apresentam sinais de problemas físicos, limitando o desenvolvimento do sistema radicular da maioria das plantas. Ela também está diretamente correlacionada com a textura, matéria orgânica e, principalmente, a com a umidade no momento da determinação, podendo também ser influenciada pela coesão (GIAROLA et al., 2001).

Souza et al. (2005) verificaram que a área sob cerrado nativo apresentou menores valores de resistência, quando comparado à área sob plantio direto. Bertol et al. (2004) em estudo realizado em um Argissolo no estado de Santa Catarina, encontraram os seguintes valores: na profundidade 0 - 2,5 cm a resistência no campo nativo foi de 0,42 MPa enquanto no plantio direto foi 1,50 MPa. Cabe a ressalva de que grande parte dos trabalhos que observaram aumento da DS com a conversão de ambientes naturais em áreas produtivas, avaliaram os atributos físicos em profundidades superficiais do solo. Desta forma, não se pode confirmar o grau de degradação de um dado solo em pequenas profundidades.

Vários atributos tem sido elencados para se obter índices da qualidade físico-hídrica do solo e constatar degradação ou melhoria no solo. A resistência do solo à penetração tem sido muito utilizada pela facilidade de determinação e pelo baixo custo de obtenção das medidas. Santana et al. (2006) buscaram características físicas no solo que melhor identificassem a presença de horizontes coesos no solo e afirmam que a resistência à penetração foi superior.

Avaliada em diferentes umidades do solo no campo, identificou muito bem tais horizontes, que apresentaram valores mais elevados de resistência, tanto em condições mais úmidas como em baixa umidade.

A RP juntamente com a DS são atributos que apresentam relação direta com a velocidade de infiltração de água no solo, pois se um horizonte tem maior RP e DS, haverá redução no volume de poros. Esta redução interfere na capacidade de retenção e infiltração de água no solo. Em um teste de Velocidade de Infiltração de água e resistência à penetração (RP), realizados em Argissolo Amarelo sob savana em Roraima, Vale Júnior; Schaefer (2010), verificaram que a velocidade de infiltração é mais elevada em superfície, havendo uma redução no topo do Bt, em face da mudança textural abrupta cujos valores encontrados estão acima de $45,0 \text{ cm h}^{-1}$ enquanto a RP foi superior a 5,8 MPa.

Para a qualidade física, a resistência do solo à penetração é considerada por Silveira et al., (2010) a propriedade mais adequada para expressar o grau de compactação do solo e, conseqüentemente, a facilidade de penetração das raízes. Por isso, sua quantificação representa importante indicativo da dinâmica de crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

3.3.3 Porosidade Total

Para Amaro Filho et al. (2008) a porosidade é definida com sendo o total de vazios do solo ocupados pelo ar e pela água. É um índice de grande importância para o conhecimento das condições ambientais do solo no desenvolvimento e na produção vegetal. Permite avaliar o volume de vazios em relação ao volume total; permite estimar a lâmina de água necessária a irrigação de uma área; é necessário no cálculo de projetos de drenagem; é um importante parâmetro de avaliação da estrutura; é útil nos estudos de mecânica do solo; influencia na infiltração e retenção de água, e na temperatura do solo.

Libardi (2005) considera três grupos de poros: os macroporos possuem diâmetro maior que 100 micrômetros, com a principal função de aeração da matriz do solo e condução da água durante o processo de infiltração; os mesoporos tem diâmetros entre 30 a 100 micrômetros e sua principal função é a condução de água durante o processo de redistribuição da mesma no solo, quando se esvaziam os macroporos; e os microporos possuem diâmetro menor que 30 micrômetros, atuando no armazenamento de água, sendo o movimento desta muito lento nestes poros.

Ao avaliar a distribuição do tamanho dos poros, Santana et al. (2006) observaram que a macroporosidade foi reduzida nos horizontes coesos em Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo, sendo em média de 46,1 %, para os dois solos em conjunto, de 57,3 %, no horizonte AB do LA, e de 33,9 %, no BA do PA. Deve-se ressaltar que a macroporosidade pode ser considerada uma integração de granulometria, argila dispersa em água, densidade do solo, porosidade total e agregação, todos atributos importantes envolvidos na coesão.

3.3.4 Textura

A textura do solo é um dos atributos mais estáveis, sendo modificada levemente pelo cultivo e outras práticas que ocasionam a mistura de diferentes profundidades. Contudo, é uma propriedade que tem estreita relação com a retenção e o transporte de água, estrutura do solo, retenção de nutrientes e de matéria orgânica, além de influenciar fortemente os processos erosivos do solo (BARROS et al., 2009).

Portanto, após a caracterização inicial, as medidas subsequentes podem ser feitas de 2 a 5 anos, porque a alteração da textura se verifica somente quando a erosão acelerada é o processo de degradação predominante. A erosão remove seletivamente a argila, deixando as frações mais grosseiras (ARSHAD et al., 2002).

3.3.5 Umidade do Solo

A capacidade de retenção de água de um solo dependerá do número e tamanho dos poros, os quais são influenciados primariamente pela textura, estrutura, matéria orgânica e mineralogia do solo (LOWERY et al., 1996). Esta propriedade está relacionada ao transporte e armazenamento de água no solo, à erodibilidade do solo e ao teor de água disponível (DORAN; PARKIN, 1996).

Feitosa (2009) estudando atributos físicos de Argissolo Vermelho Amarelo sob formações florestais em Roraima verificou percentagem de umidade variando de 6,64 % em superfície a 7,35 % em profundidade no período seco e em torno de 14 % no período chuvoso, sendo correlacionado com os maiores valores de argila e da matéria orgânica do solo.

3.3.6 Curva de Retenção de Água (Cc e Pm)

Uma pequena parte de toda água armazenada no solo, pode ser utilizada pelas plantas. A quantidade de água existente entre a capacidade de campo (θ_{cc}) e o ponto de murcha permanente (θ_{pm}) é definida como água disponível (VIEHMEYER; HENDRICKSON, 1927), ou seja, corresponde a água utilizada entre o potencial mátrico de 0,01 MPa (θ_{cc}) e 1,5 MPa (θ_{pm}).

As características de retenção de água no solo são substancialmente afetadas pela distribuição do tamanho de partículas do solo e também pelo arranjo das mesmas. Normalmente solos de textura média apresentam maiores teores de água disponível, devido à maior porcentagem de material coloidal, maior espaço poroso e maior superfície de absorção do que solos de textura mais grossa (FILHO et al., 2008). Entretanto, solos de mesma classe textural podem apresentar curvas de retenção diferentes devido às diferenças granulométricas nas mesmas classes texturais.

Uma maior agregação do solo reflete na densidade e porosidade do solo e na retenção de água (SILVA et al., 2005). Rojas; Van Lier (1999) trabalhando com um Argissolo Amarelo observaram, na profundidade de 0 a 20 cm e uma maior retenção de água, creditada ao maior teor de matéria orgânica nessa profundidade, a mesma relação realizada por Feitosa (2009). Por sua vez, Silva et al. (1986) obtiveram maior retenção de água em solos compactados artificialmente, condizente com aumento da densidade do solo e da microporosidade.

Neves Júnior (2005) afirma que quando o solo apresenta elevada umidade o fator limitante para o desenvolvimento radicular é a falta de oxigenação no solo, pois a água ocupa o espaço poroso do solo. Por outro lado, com baixos valores de umidade o fator limitante é a resistência à penetração. Portanto, nenhum dos atributos físico-hídricos analisados isoladamente fornece as informações necessárias para a constatação de uma pastagem degradada.

3.3.7 Estabilidade de Agregados

A estabilidade de agregados é um indicador dos processos envolvidos na degradação do solo, pois influencia a infiltração, retenção de água, aeração e resistência à penetração de raízes e selamento superficial, erosão hídrica e eólica. É também o parâmetro que melhor se correlaciona com a erodibilidade do solo (REICHERT et al., 1993). Com o cultivo, há redução nos teores da matéria orgânica e, conseqüentemente, na estabilidade de agregados,

resultando em aumento da proporção relativa de microagregados no solo, cuja estabilidade não é influenciada pelo manejo (TISDALL; OADES, 1982; ALVES, 2008).

As mudanças na estrutura do solo e o rompimento dos agregados, decorrentes do uso agrícola indevido, normalmente acarretam restrições ao crescimento radicular, reduzindo a exploração de água e nutrientes pelas culturas. Essas alterações são, muitas vezes, manifestadas pela compactação acentuada, diminuindo a porosidade e a infiltração de água no solo, aumentando o acúmulo de água sobre a superfície e a erosão hídrica (ALBUQUERQUE et al., 2003).

A diversidade da população microbiana pode influenciar consideravelmente a estabilidade de agregados. Meloni et al., (2008) compararam os atributos físicos e químicos em solo sob Mata Atlântica, floresta de araucária, florestamento com eucalipto e pastagem (*Brachiaria decumbens*) em Minas Gerais. Estes autores observaram um grau de floculação semelhante nas áreas de pastagem e na mata, que foi atribuído à elevada população microbiana do solo.

As alterações nos atributos físicos de solos com colóides de carga variável, em especial na profundidade superficial mais rica em matéria orgânica, podem ser provocadas por diversos mecanismos como a quebra dos agregados por efeito mecânico causado pelo revolvimento do solo ou pisoteio animal, a perda da matéria orgânica, que é um dos principais agentes cimentantes das partículas do solo e alterações químicas advindas do uso de corretivos e adubos (WESTERHOF et al., 1999).

Por apresentar solos com elevada acidez, em Roraima a prática da calagem antecede a implantação de diversos sistemas produtivos. Porém, esta prática pode alterar algumas propriedades físico-hídricas em maior ou menor grau, conforme observado por Albuquerque et al., (2003). Estes autores constataram que a calagem diminuiu o grau de floculação da argila de 69 %, em média, no solo não calcariado, para aproximadamente 58 %, quando se adicionaram 9,0 ton ha⁻¹ de calcário. Esta redução está, provavelmente, relacionada com o aumento da espessura da dupla profundidade elétrica difusa dos colóides atribuído à criação de cargas negativas, a qual se evidencia pelo aumento na CTC e pela substituição do Al³⁺ pelo Ca²⁺ e Mg²⁺ no complexo de troca. O aumento na dispersão dos colóides afeta o planejamento de uma área agrícola, principalmente no que concerne à irrigação. A argila dispersa provoca redução na percolação de água no solo devido à obstrução dos poros por partículas finas dispersas.

As mudanças na estabilidade de agregados e outros atributos físicos do solo, decorrentes da calagem e da adubação, podem estar ligados a dois mecanismos principais. O primeiro deles refere-se ao efeito direto de tais práticas, que modificam a composição química da

solução do solo. Assim, as alterações no pH, na força iônica da solução e nos tipos de íons presentes, influenciariam significativamente a dispersão ou floculação dos colóides, interferindo, por consequência, na agregação das partículas do solo. O segundo mecanismo refere-se ao efeito indireto da adição de calcário e adubos ao solo, que favoreceria a produção de fitomassa das culturas, levando a uma maior adição de matéria orgânica, que incrementaria a atividade microbiana e a estabilidade dos agregados (SETA; KARATHANASIS, 1997).

Para Souza et al. (2004) a formação e a estabilização dos agregados do solo ocorrem simultaneamente na atuação de processos físicos, químicos e biológicos. Esses processos atuam por mecanismos próprios, em que são envolvidos por substâncias que agem na agregação e na estabilização. Entre essas, as principais são: argila, sílica coloidal, compostos orgânicos, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxido e hidróxidos de ferro e alumínio. Portanto a estabilidade de agregados é um importante indicador da qualidade (física, hídrica e química) do solo.

3.4 Os Ecossistemas Naturais Estudados

3.4.1 As Savanas de Roraima

É característica das savanas de Roraima a extensa superfície aplainada com mosaico de suaves colinas e tabuleiros entremeados de depressões com buritizais e manchas esparsas de florestas, como ilhas. Essas formações abertas, não florestais, são comumente denominadas de “lavrado”. Em âmbito regional, os termos “savana”, “cerrado” e “lavrado” identificam a mesma paisagem savânica, representando o bioma Cerrado Brasileiro. Contudo, na definição fitogeográfica, toda a paisagem da savana de Roraima faz parte da ecorregião das “Savanas das Guianas”, as quais pertencem ao bioma Amazônia. Esta diferenciação é importante por que, embora ambas possuam a mesma aparência e estrutura física, existem especificações ecológicas e florísticas que distinguem as savanas do extremo norte amazônico dos cerrados situados em outras regiões do país (VALE JÚNIOR, 2010).

As savanas de Roraima detêm uma grande diversidade e variabilidade pedológica em função de fatores como geomorfologia (relevo plano e suave ondulado), vegetação, clima e material de origem (por exemplo, sedimentos da formação Boa Vista) (VALE JÚNIOR, 2000). Em sua maioria, são solos de baixa fertilidade natural, com baixos valores de cátions

trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) e elevada saturação por alumínio. O fósforo disponível é baixo e a matéria orgânica, principalmente pela ação constante do fogo e da rápida mineralização, apresenta valores inferiores a 20 g kg^{-1} .

Em geral, são solos bem drenados e profundos, com sequência de Horizonte A, B e C, com horizonte A moderado ou fraco, bem intemperizados, baixa saturação por bases, ácidos a fortemente ácidos e elevada saturação por alumínio. A coloração é amarelada (bruno-amarelada a bruno forte) de matizes 7,5YR a 2,5Y, a fração argila é de natureza essencialmente caulínica. Apresentam-se coesos, duros a muito duros quando secos e normalmente friável quando úmidos, principalmente nos horizontes de transição AB ou BA ou mesmo no topo do horizonte C (VALE JÚNIOR, 2000; JACOMINE, 2001; LIMA et al., 2005; MELO, 2002; MELO et al., 2004).

Os solos sob savana, quando submetidos a determinados sistemas de manejo, tendem a um novo estado de equilíbrio refletido em diferentes manifestações de seus atributos físicos, os quais poderão ser desfavoráveis à conservação do solo e produção das culturas (SILVA et al., 2005; SOUZA et al., 2005).

Apesar do nível de alteração, como um todo, ser relativamente baixo (ao redor de 10%), alguns impactos já são visíveis no ambiente, embora a região apresente uma carência muito grande de pesquisas científicas que possam qualificar e quantificar as alterações, decorrentes da antropização das savanas. Estudos mais recentes foram realizados com objetivo de diagnóstico dos solos e avaliação de impactos ambientais em áreas de plantio com *Acácia mangium* (VALE JÚNIOR, 2002). VALE JÚNIOR (2000) concluiu que em solos submetidos a sucessivos anos de cultivo, há uma tendência para diminuição gradativa de sua aptidão agrícola pela alteração de suas propriedades físicas e químicas.

Atributos que avaliam alterações na estrutura do solo têm sido utilizados para indicação de ações de manejo e de conservação do mesmo. Tais atributos são indicadores de alterações na sua qualidade e, podem, também, ser utilizados como indicadores ambientais. A compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade física são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis.

3.4.2 A Floresta Amazônica

A floresta Amazônica abrange vários tipos de vegetação, Brasil (1975) divide as mesmas em Floresta Ombrófila densa que pode ser de vários tipos: montana, submontana,

entre 100 e 600m de altitude, as árvores raramente ultrapassam os 30m de altura, aluvial e das terras baixas; já a Floresta Ombrófila aberta pode ser de dois tipos principais: submontana e das terras baixas, a floresta ombrófila aberta pode ser classificadas de acordo com as espécies dominantes: floresta aberta com palmeiras, floresta aberta com cipós, floresta aberta com bambu e floresta aberta com sororocas. Roraima apresenta tipos de cobertura vegetal bastante diversificados, cerca de 85% do total do estado é coberto por florestas tipicamente amazônicas e suas variações (SILVA, 1997).

A floresta ombrófila densa das terras baixas (ou floresta de terra firme) são florestas que ocorrem em áreas não inundáveis, em cotas altimétricas abaixo de 100 m, na área de embasamento do relevo residual das Serras do Preto e da Perdida (Parque Nacional do Viruá). São encontradas também em áreas não inundáveis no tempo presente (provavelmente paleovárzeas) das bacias do rio Branco, rio Anauá e tributários. As formações de florestas ombrófila densa (submontana, das terras baixas e aluvial) podem apresentar trechos mais abertos, com dossel descontínuo, com presença notável de palmeiras ou de cipós, a essas variações denomina-se floresta ombrófila aberta (VELOSO, RANGEL LIMA; LIMA, 1991).

3.4.3 Manejo do Solo na Conversão da Vegetação Natural em Pastagem

Nos países em desenvolvimento, as necessidades atuais de forragem para a produção pecuária excedem a produção sustentável das pastagens e dos solos que as suportam. Sistemas intensivos de exploração agropecuária exigem a utilização de forrageiras com elevada produtividade e qualidade de biomassa, cujo processo de produção envolve o uso intenso de máquinas e equipamentos. Nesses sistemas de produção acentuam-se os riscos de degradação física dos solos, com reflexos negativos em termos agronômicos e ambientais, cuja magnitude depende das características dos solos, das condições climáticas e do manejo utilizado (GIAROLA; TORMENA; DUTRA, 2007).

Para Lanzasova et al. (2007), a compactação do solo causada pelo intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas e pelo pisoteio animal tem sido apontada como uma das principais causas da degradação de áreas cultivadas em sistemas de integração lavoura-pecuária. O grau de compactação provocado pelo pisoteio bovino é influenciado pela textura do solo, sistema de pastejo, altura de manejo da pastagem, quantidade de resíduo vegetal sobre o solo e umidade do solo. No entanto, o efeito do pisoteio animal sobre as propriedades

físicas do solo é limitado às suas profundidades mais superficiais, podendo ser temporário e reversível.

Uma das características mais marcantes das espécies forrageiras que compõem as pastagens nativas das savanas bem drenadas é o baixo potencial produtivo, cerca de 1.500 kg ha⁻¹, com agravamento da produção de forragem durante a época de estiagem, quando podem atingir 800 kg ha⁻¹. Outra característica importante das pastagens nativas da savana, é a baixa qualidade de forragem produzida, representada pelos baixos teores de proteína bruta e minerais, bem como pelos baixos valores de digestibilidade, ficando abaixo dos níveis críticos para a nutrição animal (CAMARÃO; SOUZA FILHO, 2001).

Por esta razão, o desenvolvimento de uma pecuária com índices zootécnicos aceitáveis sob o ponto de vista bio-econômico, tem esbarrado nestas limitações. Em função destas limitações, muitos proprietários tem adotado sistemas de manejo (incluindo o fogo) na busca da melhoria do potencial produtivo dessas áreas, principalmente pela introdução de espécies forrageiras e a fertilização das pastagens nativas ou já existentes. Dentre as espécies, pode-se encontrar as gramíneas *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria humidicola*, *Paspalum secans*, *Paspalum notatum*, *Paspalum guenoarum*, e as leguminosas *Stylosanthes* spp., *Centrosema macrocarpum*, *Centrosema acutilifolium*, *Pueraria phaseoloides* e *Dioclea guianensis* (CAMARÃO; SOUZA FILHO, 2001).

Os ecossistemas tropicais sob vegetação nativa encontram-se em equilíbrio termodinâmico (vegetação climax), ou seja, as perdas e ganhos dentro do sistema são equivalentes. No entanto, quando há rompimento deste equilíbrio, ocorre a desordem no sistema. A depender da magnitude do impacto sobre o meio, o sistema pode caminhar para um processo de degradação ou a um novo equilíbrio (ALVES 2008). Neste sentido, Neves Júnior (2005) avaliou uma pastagem (*Brachiaria decumbens* e *Panicum maximum*) de 28 anos de idade em Rondônia, com lotação animal de 1,5 animais por hectare, e concluiu por meio dos atributos físico-hídricos, que a pastagem em estudo não apresentou degradação física do solo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da Área de Estudo

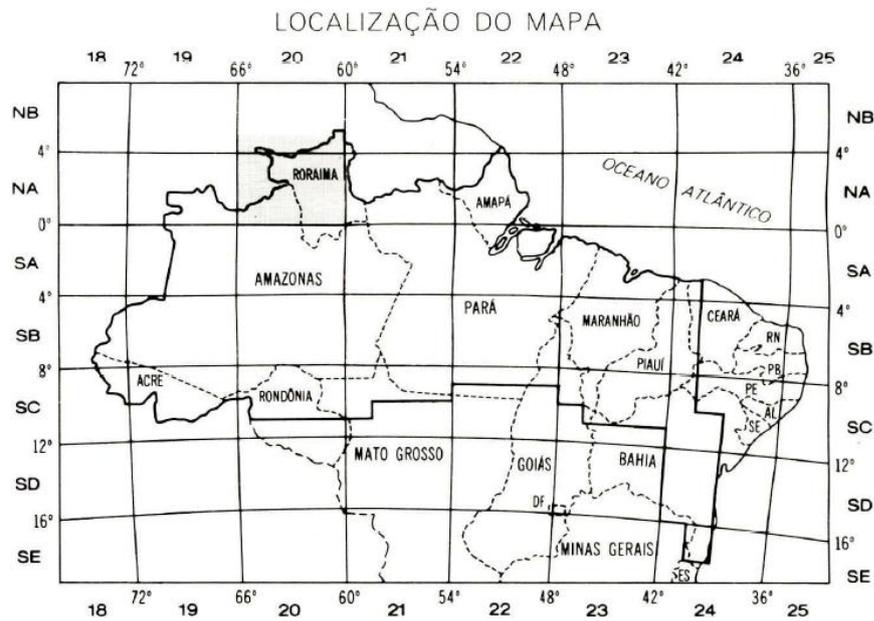
O presente estudo foi realizado no estado de Roraima (**Figura 01**), no período de março de 2011 a julho de 2012. A área representativa do ecossistema Floresta Natural (**FN**) foi determinada no município de Rorainópolis (vicinal 09), nas coordenadas UTM N0783832 e W00930008. Nas adjacências foi selecionada uma área de Floresta Convertida à pastagem (**FC**) para bovinos e ovinos cujas coordenadas são UTM N0783816 e W0092996. Foi selecionada uma área de Savana Natural (**SN**) no município de Bonfim à margem da BR-410 a aproximadamente 20 km da capital Boa Vista. Para a área de Savana Convertida (**SC**) foi selecionada uma área de pastagem na fazenda Smith, que se distanciava da SN em aproximadamente 4 km (**Figura 01**).

4.2 Caracterização da Área de Estudo

4.2.1 Solo

O solo nas duas áreas foi classificado como Argissolo Amarelo Distrófico, o relevo na savana foi de plano a suave ondulado (5 a 10 %) e na floresta, suave ondulado a ondulado (8 a 13 %). A textura no solo sob floresta convertida e natural foi Franco-Argilo-Arenosa até a profundidade de 20 cm, de 20 a 40 cm a textura foi de Areno-Argilosa. Na savana (natural e convertida) a textura do solo foi de Franco-Arenosa até a profundidade de 20 cm. De 20 a 40 cm a textura foi Franco-Argilo-Arenosa. São solos profundos, bem drenados, com presença de petroplintita a partir de 30 cm de profundidade apenas no Argissolo sob floresta.

Figura 01: Localização do estado de Roraima.



Fonte: BRASIL, 1975

4.2.2 Clima

Segundo a classificação climática de Köppen, o estado de Roraima apresenta três tipos climáticos, todos com altas temperaturas, associados aos tipos característicos de vegetação, cujas médias mensais apresentam uma amplitude anual que não ultrapassa 5° C. O tipo Af é constantemente úmido e ocorre na região de florestas tropicais no sul do estado e o tipo Aw apresenta um regime hídrico bem diferenciado, com uma estação seca e uma estação chuvosa de aproximadamente seis meses, abrangendo as savanas tropicais. (BARBOSA, 1997).

4.2.3 Vegetação e Histórico das Áreas

A SC foi uma área inicialmente aberta para o cultivo de grãos, seguida de calagem e adubação apenas no início da abertura da área. Foi plantado arroz, milho e soja, milho e feijão guandú e por último a pastagem com *Brachiaria brizantha* em sistema de plantio direto há 5 anos com aração e gradagem, calagem e adubação a cada rotação de culturas. A área ocupada pela pastagem tem 600 ha e taxa de lotação 1 animal/ha. A área de SN foi classificada como Savana Parque, com predominância de Caibés (Curatela americana). A

FN foi classificada como Floresta Ombrófila Densa, sendo selecionada uma área não antropizada. A **FC** foi desmatada há aproximadamente 25 anos pelo uso do fogo. Há 16 anos essa área tem sido ocupada com *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria humidicola* para a criação de bovinos e ovinos.

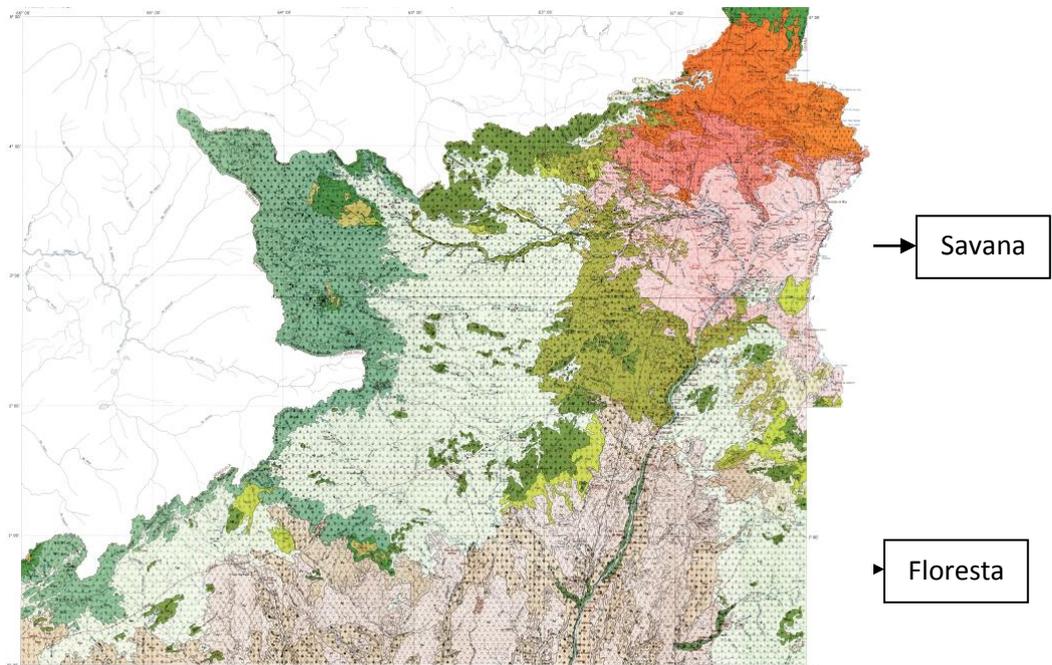
4.2.4 Amostragem

As amostras para análises físico-hídricas foram obtidas de cinco mini trincheiras com 50 cm de profundidade dentro da área de cada tratamento, sendo estipulada em 1 ha (100 x 100 m), em cada mini trincheira foram coletadas amostras deformadas, indeformadas e determinada a resistência à penetração (RP) em três profundidades. Cada amostra deformada continha aproximadamente 2 kg de solo e as amostras indeformadas foram coletadas em anel volumétrico, portanto, cada tratamento teve 15 amostras deformadas e 15 indeformadas. Para a RP foram feitas 5 leituras em cada mini trincheiras nas três profundidades, totalizando 75 leituras para cada tratamento. As amostras deformadas foram conduzidas ao galpão de secagem de solos da UFRR onde foi preparada a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). As amostras indeformadas foram acondicionadas em latas de alumínio lacradas para evitar a perda de umidade na avaliação da umidade gravimétrica e da densidade do solo na UFRR. Amostras deformadas e indeformadas foram embaladas e etiquetadas para envio à Universidade Federal de Viçosa (UFV) para as demais análises físico-hídricas.

4.2.5 Delineamento

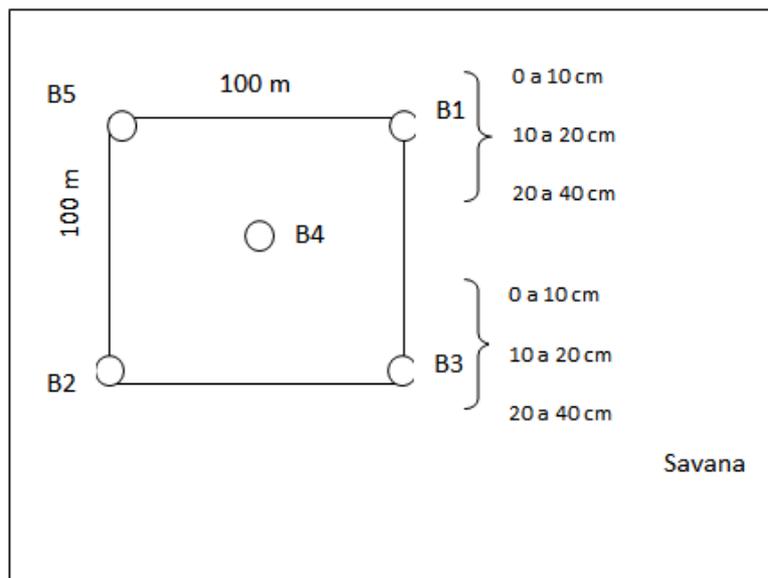
O delineamento experimental foi em Blocos Casualizados (DBC) em esquema de parcela subdividida, baseando-se em trabalhos semelhantes como o de Silva et al. (2005). O presente trabalho foi constituído de 4 tratamentos, sendo **T1 = Floresta Ombrófila Densa**; **T2 = Savana Natural**; **T3 = Floresta Ombrófila Densa Convertida em Pastagem** e **T4 = Savana Convertida em Pastagem**; e cinco blocos (cinco mini-trincheiras) dentro da área delimitada, e 3 profundidades de amostragem (0 – 10 cm; 10 – 20 cm e 20 – 40 cm) conforme pode se observar nas **Figura 02 e 03** e **Tabelas 01 e 02**.

Figura 02: Mapa Fitoecológico indicando a região de domínio dos ecossistemas de Savana e Floresta densa na escala de 1:1.000.000.



Fonte: BRASIL, 1975.

Figura 03: Esquema de amostragens da ÁREA e delineamento experimental. R = Perfil = Repetição; em cada bloco (B) foram coletados dados e amostras nas três profundidades (0 a 10 cm; 10 a 20 cm; 20 a 40 cm) dentro de uma área de 1 ha (100 x 100m).



Fonte: CRUZ, 2011.

Figura 04: Mini-trincheira de PA em Floresta Natural no município de Rorainópolis - RR.



Fonte: CRUZ, 2011.

Figura 05: Área de pastagem em ambiente de floresta em Rorainópolis - RR.



Fonte: CRUZ, 2011.

Figura 06: Área de Savana Natural com predominância de caimbés, em Bonfim - RR.



Fonte: CRUZ, 2011.

Figura 07: Área de pastagem em ambiente de savana em Bonfim - RR.



Fonte: CRUZ, 2011.

Tabela 01: Esquema da análise de variância

FV	GL
Bloco	4
ÁREAS (A)	3
Resíduo a	12
Parcelas	19
PROF (P)	2
Int. AxP	6
Resíduo b	32
Total	59

Tabela 02: Parcelas (tratamentos principais), subparcelas (tratamentos secundários) e variáveis analisadas no trabalho.

Parcela (Áreas)	Sub-parcelas (Profundidades)		
	0 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 40 cm
Floresta Natural (FN)	--- Variáveis ---		
Floresta Convertida (FC)	RP, Densidade do Solo e de Partículas, Granulometria, CAD,		
Savana Convertida (SC)	Retenção de Umidade, Grau de Floculação da Argila, Porosidade Total, Umidade Gravimétrica, Argila Dispersa, DMP, DMG, Índice de Sensibilidade, Classe de Agregados e MO.		
Savana Natural (SN)			

Onde: RP: Resistência à Penetração; CAD: Capacidade de Água Disponível; DMP: Diâmetro Médio Ponderado; DMG: Diâmetro Médio Geométrico; MO: Matéria Orgânica.

4.3 Análises Físico-Hídricas do Solo

As análises foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Viçosa, à exceção da Densidade do Solo, RP em campo e Umidade Gravimétrica que foram realizadas no Laboratório de Fertilidade da UFRR.

Densidade: As amostras foram obtidas no campo por meio de anel amostrador de Uhland em três profundidades, a saber: 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 40 cm. As amostras

indeformadas foram retiradas do cilindro (104 cm³) e postas em latas de alumínio, vedadas com fita adesiva para se evitar a perda de água da amostra.

A **Densidade do Solo (DS)** foi determinada por meio de anel volumétrico de 104 cm³. A **DS** (g cm⁻³) foi calculada com a massa do solo seco à 105° C dividida pelo volume do anel (cm³). A **Densidade de Partículas (DP)** foi determinada pelo método do balão volumétrico, onde a massa da amostra seca a 105° C foi dividida pelo volume de álcool gasto menos 50. Segundo metodologia de Embrapa (1997).

$$\text{Densidade do Solo (DS)} = m/v$$

$$\text{Densidade de Partículas (DP)} = (a/50-b)$$

Resistência à Penetração (RP): foi obtida por meio de penetrômetro de pressão, a leitura foi realizada em três pontos ao redor da mini-trincheira nas três profundidades: 0 a 10 cm; 10 a 20 cm; e 20 a 40 cm, totalizando 15 repetições em cada tratamento (5 mini-trincheiras x 3 leituras). Os valores dados em Kgf cm⁻² foram multiplicados por 0,098 para conversão em MPa (Mega Pascal), em seguida foi feita a interpretação das classes de resistência à penetração citadas por Arshad et al. (2002).

Composição Granulométrica: No laboratório as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm, obtendo a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). Estas amostras foram submetidas à dispersão de 10g em 50 ml de NaOH 0,1 mol⁻¹, por 12 horas, e agitação em alta rotação, por 15 minutos. As frações areia grossa e fina foram separadas por tamisação em peneiras com malhas de 0,2 mm e 0,053 mm. A composição granulométrica foi determinada após a dispersão da TFSA com NaOH e agitação; a fração areia foi obtida por peneiramento úmido, a argila pelo método de Bouyoucus e o silte por diferença, conforme Embrapa (1997).

Argila Dispersa em Água (AD) e Grau de Flocculação (GF): Também foi determinada segundo a metodologia de Embrapa (1997).

O Grau de Flocculação (GF) foi determinado pela relação entre a argila nativa dispersa em água e a argila total, da seguinte forma:

$$\text{GF} = 100 (a-b) / a$$

Sendo: a = argila total; b = argila dispersa em água

Porosidade Total (α): Foi determinada a partir dos valores de densidade do solo e da densidade de partícula, da seguinte forma:

$$\alpha(\text{cm cm}^{-3}) = (a - b) / a$$

Sendo: a = densidade de partículas; e b = densidade do solo

Umidade Gravimétrica do Solo (θ_g): Foi determinada segundo o padrão de estufa (gravimétrico), como segue abaixo:

$$\theta_g = (m_1 - m_2 / m_2 - m_3) \times 100$$

Sendo: θ_g = umidade em massa (kg kg^{-1}); m_1 = massa da amostra úmida + recipiente;

m_2 = massa da amostra seca + recipiente; m_3 = massa do recipiente

Conteúdo de Água em Volume (θ_v): A determinação foi realizada conforme a equação abaixo:

$$\theta_g \times \rho_s \text{ (cm cm}^{-3}\text{)}$$

Sendo: θ_g = umidade gravimétrica do solo e ρ_s = densidade do solo

Retenção de Umidade: Foi determinada pela metodologia da mesa de tensão, utilizando-se as amostras de solo indeformadas. Foram avaliados os seguintes potenciais mátricos: -10, -30 e -1500 kPa, sendo potencial -10 kPa referente à capacidade de campo (θ_{cc}) e -1500 kPa o ponto de murcha (θ_{pm}).

Água Disponível no Solo (CAD): Foi determinada conforme a equação.

$$\text{CAD (\%)} = (\theta_{cc} - \theta_{pm}) \times 100$$

Sendo: θ_{cc} = valor da umidade na capacidade de campo a uma tensão de - 10 kPa; θ_{pm} = valor da umidade no ponto de murcha permanente a uma tensão de - 1500 kPa.

Estabilidade de Agregados Via Úmida: Foi feita por meio de amostras representativas do solo em condições de campo. Essas foram secas ao ar e depois destorroadas manualmente. Em seguida esse material foi passado em duas peneiras de malha 4,0 mm e em outra com malha de 2,0 mm, obtendo-se os agregados com essa classe de diâmetro.

Após o processo de peneiramento, 50 g de solo foi pesado em triplicata para o teste de estabilidade de agregados. As amostras retiradas para o teste foram dispostas em um conjunto de peneiras empilhadas, na seguinte ordem, 2,0 mm (parte superior), 1,0 mm, 0,5 mm, 0,25 mm e < 0,106 mm (parte inferior) de acordo com a metodologia de Embrapa (1997).

A estabilidade de agregados foi expressa pelo Diâmetro Médio Geométrico (**DMG**), Diâmetro Médio Ponderado (**DMP**) e o Índice de Sensibilidade (**IS**) obtidos pelas seguintes equações:

$$\text{DMG} = \exp\left(\sum_{i=1}^n (w_i \cdot \log x_i)\right) / (\text{peso da amostra})$$

Onde w_i = peso dos agregados retidos em cada uma das peneiras (g), é multiplicado pelo logaritmo x_i = diâmetro das classes de peneira utilizadas (mm). A soma desses produtos para todos os tamanhos de frações é dividida pelo peso total da amostra.

$$\text{DMP} = \sum_{i=1}^n (\text{xi} \cdot \text{wi}) / (\text{peso da amostra})$$

Onde w_i = peso dos agregados retidos em cada uma das peneiras (g) e x_i = diâmetro das classes de peneira utilizada (mm)

O Índice de Sensibilidade utiliza o princípio da comparação relativa entre tratamentos e é calculado pela seguinte expressão. O valor **as** refere-se ao DMP do solo antropizado e **ac** refere-se ao DMP do solo em condições naturais. O valor do referido índice maior que 1 (um) significa que a estabilidade dos agregados aumentou.

$$\text{Is} = \text{as}/\text{ac}$$

4.4 Análise Estatística

Os dados coletados foram tabulados em planilha eletrônica para posterior avaliação pelo Teste F com o intuito de observar efeito das parcelas (áreas), sub-parcelas (profundidades) e da interação entre área e profundidade sobre as médias. Constatando efeito significativo pelo Teste F, procedeu-se o teste comparativo entre médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade no programa SAEG (RIBEIRO JÚNIOR, 2004).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Granulometria

Analisando a granulometria sob os critérios de Embrapa (2009) observou-se a presença do gradiente textural tanto em ambiente de savana como em floresta (**Tabela 03**), satisfazendo um dos critérios para a classificação da classe dos Argissolos.

Tabela 03: Granulometria do solo em área de floresta e savana naturais, e floresta e savana convertidas em pastagem.

Profundidades (cm)	Tratamentos	Argila	Silte	Areia T
		---- dag kg ⁻¹ ----		
0 a 10	Floresta Natural	22,6	10,8	64,4
	Floresta Convertida	25,8	6,6	66,4
	Savana Natural	10,8	11	78,2
	Savana Convertida	10,4	8,4	81,2
10 a 20	Floresta Natural	28,4	9,6	62,0
	Floresta Convertida	37,0	6,0	57,0
	Savana Natural	19,0	10,6	70,4
	Savana Convertida	16,6	8,0	75,4
20 a 40	Floresta Natural	36,2	8,8	58,6
	Floresta Convertida	48,2	4,0	49,6
	Savana Natural	22,4	10,6	67,0
	Savana Convertida	22,4	6,2	71,4

Onde: GT: Gradiente Textural dividindo-se o teor de argila da profundidade de 0 a 10 cm com o teor de 20 a 40 cm; Areia T: Areia Total.

Os solos sob floresta apresentaram menos de 40 dag kg⁻¹ da argila no horizonte A e a relação maior que 1,70 foi observada na área de floresta convertida. Na floresta natural foi observada uma relação de 1,6 talvez pela possibilidade do horizonte Bt localizar-se abaixo dos 40 cm, a exemplo do que foi encontrado por Benedetti et al. (2011) estudando Argissolos sob savana em Roraima. Nas áreas de savana os teores de argila no horizonte A foram inferiores a 15 dag kg⁻¹ e tanto o solo sob savana natural como convertida apresentaram relação superior a 1,8.

A relação silte/argila mostrou-se maior na savana em todas as profundidades, o que pode ser um indício de menor estágio de intemperismo nestas áreas. Os valores de silte/argila não foram superiores a 0,6 em nenhum tratamento na profundidade de 20 a 40 cm, esse valor é tido como limite para a caracterização de elevado estágio de intemperismo segundo o Sistema Brasileiro de classificação do Solo (Embrapa, 2009):

Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Benedetti et al. (2011) em Argissolo Amarelo Distrocoeso sob savana no estado de Roraima. Estes autores encontraram 11 dag kg⁻¹ de argila no horizonte A e 20 dag kg⁻¹ no horizonte Bt. Estes

autores também avaliaram a mineralogia de argila deste solo e confirmaram a predominância de Caulinita.

Maiores teores de areia total foram verificados para os solos sob savana, onde essa diferença pode explicar os valores para densidade do solo observada neste estudo, vez que a granulometria exerce papel fundamental neste atributo (SANTANA et al., 2006). Essa mesma relação também foi obtida Paiva (1997), que observou maiores valores de densidade do solo em um Argissolo Acinzentado (PAC), de textura areia franca a franco-arenosa e sem coesão, em comparação com um Latossolo Amarelo argissólico e um Argissolo Amarelo, ambos coesos e de textura média a argilosa.

A textura no Argissolo sob savana foi franco - arenosa até a profundidade de 20 cm. A partir dessa profundidade a textura passou a ser argilo – arenosa devido ao aumento nos teores de argila, já na floresta a textura foi argilo – arenosa em todas as profundidades. A textura mais arenosa em superfície é descrita como uma característica do Argissolo, que ocorre devido à iluviação da argila para subsuperfície do solo. A textura mais arenosa no PA sob savana pode ter influenciado na maioria dos atributos físico - hídricos avaliados neste estudo.

A granulometria interfere em vários atributos físico-hídricos do solo, Silveira et al. (2010) verificaram que pequenas alterações no conteúdo de água determinam grandes variações na resistência à penetração, corroborando o que foi observado neste trabalho, onde a resistência a penetração variou mais em função da textura, pois a umidade foi semelhante entre os tratamentos. Esse comportamento decorre, possivelmente, da influência da textura do solo, cuja predominância da fração areia na profundidade resulta em rápida permeabilidade e conseqüente variação no conteúdo de água no solo, transferindo essa característica para a resistência à penetração.

A correlação da textura com a densidade do solo permitiu constatar que o aumento da densidade entre área natural e convertida na superfície (até 20 cm) se deu em função da ação antrópica (mecanização e criação animal) e não da textura, pois na classificação textural as áreas naturais e convertidas não diferiram.

5.2 Densidade do Solo (DS) e Densidade de Partículas (DP)

O resultado da análise de variância (ANOVA) indicou diferença significativa para as Áreas (A), Profundidades (P) e para a interação Área x Profundidade (**Tabela 01 em ANEXO**).

A densidade do solo (DS) foi estatisticamente superior nas duas áreas de Savana, não havendo diferença entre Savana Convertida ($1,65 \text{ g cm}^{-3}$) e Savana Natural ($1,55 \text{ g cm}^{-3}$) em nenhuma profundidade do solo. A conversão da Floresta Natural provocou aumento significativo da DS apenas na profundidade superficial até 10 cm do solo ($1,03 \text{ g cm}^{-3}$ na FN e $1,35 \text{ g cm}^{-3}$ na FC), sendo que nas profundidades mais profundas não houve diferença entre Floresta Natural e Floresta Convertida (**Tabela 04**).

Tabela 04: Valores médios de Densidade do Solo (g cm^{-3}), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função dos tratamentos e da profundidade.

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0 – 10	10 – 20	20 – 40
Floresta Natural (FN)	1,03 C c	1,28 B b	1,38 B a
Floresta Convertida (FC)	1,35 B a	1,36 B a	1,34 B a
Savana Natural (SN)	1,55 A b	1,66 A a	1,66 A a
Savana Convertida (SC)	1,65 A a	1,69 A a	1,67 A a

OBS: letras maiúsculas para comparação entre os tratamentos em cada profundidade. Letra minúscula para comparação de profundidades dentro de cada tratamento.

Os tratamentos que apresentaram aumento da DS com o aumento da profundidade foram a Floresta Natural e a Savana Natural, na Floresta e na Savana Convertida não houve aumento da DS em função das profundidades, conforme se observa nas letras minúsculas da **Tabela 04**. A conversão dos ambientes naturais provocou aumento da densidade na superfície, o que refletiu na igualdade dos valores de DS nas profundidades dos tratamentos **SC** e **FC**, conforme se observa na **Figura 01 em ANEXO**.

As áreas de Savana se mostraram menos sensíveis a conversão de ambiente natural para sistema lavoura-pecuária que a áreas de Floresta. A densidade do solo superior nas áreas de savana pode estar associada ao processo de coesão natural, que se iniciou na sua gênese e é típica dos solos amarelos (Latosolos e Argissolos) sob savana de Roraima (SCHAEFER, 1997).

Benedetti et al. (2011) não observaram diferença entre a DS do horizonte A (0 a 25 cm) e o Bt (43 a 105 cm) de um Argissolo Amarelo sob savana de Roraima, cujo valor médio foi de

1,38 g cm⁻³, sendo inferior ao encontrado neste estudo. Estes autores também encontraram valores de DP de 2,75 e 2,66 g cm⁻³ para o horizonte A e o Bt respectivamente, os quais foram semelhantes aos observados neste trabalho, e que indicam a predominância da caulinita na fração argila. Segundo estes autores essa mineralogia é herdada do retrabalhamento do material de origem pré-intemperizado. Em solos derivados das rochas sedimentares, os baixos teores de minerais ferromagnesianos podem ser atribuídos ao material que deu origem aos sedimentos, ao alto grau de intemperismo ocorrido antes da deposição e às condições úmidas que favorecem a concentração de caulinita e a remoção de minerais de óxidos de Fe.

Ao estudar um Argissolo Vermelho Amarelo sob floresta de transição e sob pastagem em Roraima, Souza (2010) também constatou que a DS da floresta foi menor que a da pastagem até os 10 cm. Este autor encontrou valores de 1,26, 1,74 e 1,75 g cm⁻³ para a floresta nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm respectivamente. Na área de pastagem foram observados valores de 1,51, 1,64 e 1,71 nas mesmas profundidades, evidenciando que a compactação do solo pelo pisoteio é superficial, dado corroborado neste trabalho. Os valores de DS deste autor foram superiores aos observados nesse trabalho, entretanto a resposta do solo ao pisoteio animal foi a mesma. Ou seja, não houve aumento da densidade do solo nas maiores profundidades, que pode estar relacionado com um bom manejo dos bovinos, o qual não comprometeu a qualidade física do solo.

A densidade do solo pode ser um atributo importante na identificação da presença de coesão do solo conforme foi observado neste trabalho e corroborado por Santana et al. (2006). Estes autores observaram aumento significativo da DS nas profundidades coesas de LA e de PAC ambos sob cultivo de citros, encontrando valores de 1,43 g cm⁻³ no horizonte Ap e 1,71 g cm⁻³ no horizonte AB do LA, e 1,46 g cm⁻³ no horizonte Ap aumentando para 1,62 g cm⁻³ no Bt do PAC. Estes autores afirmam que a granulometria exerce uma forte influencia na densidade, o que foi observado também neste trabalho. Logo, solos com textura arenosa podem apresentar densidade superior a um solo de textura média, mas não significa que o primeiro tem coesão.

Barros et al. (2009) estudaram a conversão de Savana Natural em plantio florestal de *Acacia mangium* sobre Argissolo Vermelho Amarelo em Roraima, obtendo valores de DS inferiores aos encontrados neste trabalho (1,49 g cm⁻³ na profundidade de 0 a 10 cm para savana antes do plantio), verificando aumento da densidade com o aumento da profundidade (1,63 g cm⁻³ na profundidade de 30 a 40 cm). Ao contrário do observado neste trabalho, esses autores observaram diminuição dos valores de DS na profundidade superficial após a conversão de ambiente natural para plantio florestal provavelmente pelo recente revolvimento

do solo que destrói a estrutura do solo ocasionando menor DS nas menores profundidades ($1,28 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,34 \text{ g cm}^{-3}$ para plantio estabelecido e plantio jovem respectivamente). Neste trabalho o revolvimento não foi recente, portanto os valores de DS na profundidade de 0 a 10 cm foram significativamente diferentes tanto na floresta como na savana convertida e natural, aumentando a DS com o aumento da profundidade.

A DS pode variar também em função da época de coleta dos dados. A coleta realizada com pouco tempo após a aração e gradagem irá apresentar valores de densidade inferiores na profundidade mais superficial do solo, devido ao estado de desagregação temporária provocada pelo preparo do solo a exemplo do trabalho de Lanzanova et al. (2010). Estes autores encontraram valores de DS em torno de $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ na profundidade de 0 a 8 cm e $1,52 \text{ g cm}^{-3}$ na profundidade de 8 a 16 cm, para um Argissolo Vermelho Distrófico sob diversos cultivos em sistema de plantio direto após um ano de uso e $1,60 \text{ g cm}^{-3}$ para o campo nativo em Santa Maria - RS. Neste trabalho a pastagem já estava instalada há quatro anos na Savana e há dezesseis anos na Floresta, portanto, não sofrendo influência do revolvimento do solo no início da abertura das pastagens, sendo observados valores diferentes principalmente devido aos fatores de formação do solo, sendo superiores aos da Floresta Convertida ($1,35 \text{ g cm}^{-3}$) e inferiores aos da Savana Convertida ($1,65 \text{ g cm}^{-3}$).

Em estudos realizados em Argissolo Acinzentado no município de Pacajus (CE), Lima et al. (2005) encontraram valor de densidade significativamente maior no horizonte coeso ($1,75 \text{ g cm}^{-3}$) do que no horizonte não-coeso ($1,52 \text{ g cm}^{-3}$), evidenciando a influência deste horizonte na ocorrência de maiores valores de DS. De acordo com o observado por estes autores, neste trabalho houve aumento significativo da DS com a profundidade, sendo os maiores valores encontrados na profundidade de 20 a 40 cm, provavelmente onde se encontra o início do horizonte coeso.

A Densidade do Solo na subsuperfície tem sido frequentemente associada à perda de solo por erosão, devido ao comprometimento da infiltração da água no solo, culminando no escoamento superficial (Run off) conforme descrito por Beutler et al., 2003. Associado a isto, o manejo inadequado das pastagens contribui para o surgimento de diversas áreas de pastagens na Amazônia que se tornam inviabilizadas pela erosão severa. No caso deste trabalho, mesmo com a pastagem sem sinais de degradação, a maior DS foi observada em subsuperfície, a qual foi relacionada com a gênese deste solo e não com o manejo da pastagem, pois a influencia desta ocorreu apenas na profundidade de 0 a 10 cm.

Observou-se que as áreas de savana sofreram um grau de alteração menor que as áreas de floresta, permitindo, em primeira análise, que a área de savana permite uma capacidade de

carga animal maior sem comprometer a qualidade físico-hídrica do solo. Resultado semelhante foi obtido por Lanza et al. (2007), que não observaram mudanças drásticas na DS de um campo nativo, cujos valores de $1,20 \text{ g cm}^{-3}$ (0 a 5 cm), $1,35 \text{ g cm}^{-3}$ (5 a 10 cm) e $1,33 \text{ g cm}^{-3}$ (10 a 15 cm) foram observados em pastagem de inverno rotacionada com soja e milho no verão em Argissolo Vermelho Amarelo no estado de Rio Grande do Sul. No campo nativo estes autores observaram DS de $1,09 \text{ g cm}^{-3}$ (0 a 5 cm), $1,33 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,24 \text{ g cm}^{-3}$ (5 a 10 cm e 10 a 15 cm respectivamente), valores superiores aos da floresta natural e inferiores aos da savana natural deste trabalho. Estes autores destacam outro fator importante na alteração da produção de matéria seca pelas pastagens é a frequência do pastejo, refletindo em alguns atributos físicos do solo, principalmente na matéria orgânica do solo. Desta forma, para cada ambiente deve ser planejada uma intensidade de pastejo devido à sensibilidade que cada ecossistema possui, podendo causar maior ou menor alteração da qualidade física do solo.

A compactação provocada pelo pisoteio animal neste trabalho foi observada apenas na profundidade de 0 a 10 cm, o que explica os valores semelhantes de DS entre área natural e convertida a partir da profundidade de 10 cm. Corroborando este padrão Trein et al. (1991), aplicando uma carga animal elevada (200 animais por hectare), durante reduzido período de tempo (40 h), num Argissolo Vermelho do RS sob pastagem de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreber) + trevo (*Trifolium subterraneum* L.), também verificaram compactação do solo na profundidade superficial, com valores de densidade passando de $1,39$ para $1,56 \text{ g cm}^{-3}$, antes e após a realização do pastejo, respectivamente. Leão (2002) também observou que o pastejo rotacionado (*Brachiaria decumbens* e *Panicum maximum*) promoveu maior compactação de um Latossolo Vermelho Distrófico devido a maior densidade animal nos piquetes que em campo aberto.

Silva et al. (2008) encontraram valores de $1,48 \text{ g cm}^{-3}$ na profundidade de 0 a 10 cm em um Argissolo Vermelho textura arenosa sob vegetação nativa de cerrado no estado de MS, o qual foi superior ao encontrado na floresta natural ($1,03 \text{ g cm}^{-3}$) e inferior ao da savana natural ($1,55 \text{ g cm}^{-3}$) deste trabalho. Para área cultivo estes autores encontraram valores médios de $1,60 \text{ g cm}^{-3}$, que foi semelhante ao observado na área de savana convertida deste trabalho. Esta resposta pode ser atribuída ao tráfego intenso de máquinas. Após 15 meses de plantio (milho, sorgo, mucuna e milheto) estes autores verificaram que a densidade do solo diminuiu para $1,40 \text{ g cm}^{-3}$, que foi relacionada com a estabilização da estrutura do solo em decorrência do crescimento radicular e maiores teores de matéria orgânica proveniente das plantas de cobertura. Sob este ponto de vista, poder-se-ia esperar maior ou menor compactação do solo

em função das espécies selecionadas e do manejo fitotecnico destas nas áreas convertidas deste trabalho.

Apesar da maior DS nas áreas de savana e floresta convertidas, não foi constatado limitação ao crescimento radicular das espécies instaladas nessas áreas, relação já discutida por Reinert et al. (2008) que relacionaram o crescimento radicular em solos compactados. Eles afirmam que para cada solo há uma densidade crítica, a partir da qual a resistência torna-se tão elevada que diminui ou impede o crescimento de raízes. Vários estudos adicionais seriam necessários para a determinação da DS crítica para espécies cultivadas nos Argissolos de Roraima. Argenton et al. (2005) verificaram em Latossolo Vermelho argiloso, que a deficiência na aeração iniciou-se com densidade do solo próxima de $1,30 \text{ g cm}^{-3}$. Klein (2006), para mesma classe de solo, observou que a densidade limitante foi de $1,33 \text{ g cm}^{-3}$. Já Reichert et al. (2003) propuseram densidade do solo crítica para algumas classes texturais: $1,30$ a $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ para solos argilosos, $1,40$ a $1,50 \text{ g cm}^{-3}$ para os franco-argilosos e de $1,70$ a $1,80 \text{ g cm}^{-3}$ para os franco-arenosos.

Neves Júnior (2005) associa o valor de $1,80 \text{ g dm}^{-3}$ como densidade crítica, o qual representa o limite crítico de DS onde o solo não mais apresenta condições favoráveis para o desenvolvimento das plantas. Beutler et al. (2004) observaram que a produtividade de arroz de sequeiro cultivar Caiapó foi comprometida com a DS de $1,62 \text{ g dm}^{-3}$. Estes ainda afirmam que duas passadas de uma máquina de 11 Mg sobre o Latossolo Vermelho foram suficientes para reduzir essa produtividade em 66%. Neste sentido, os solos sob savana, que apresentaram textura franco – arenosa até a profundidade de 20 cm, não apresentaram densidade crítica, porém com valores próximos aos citados como críticos na literatura.

Os valores de DS na floresta também não foram considerados críticos, mesmo considerando o valor médio de $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ citado por Reichert et al. (2003) para solos franco – argilosos, mostrando que a compactação provocada pelo pisoteio animal não foi suficiente para limitar o crescimento radicular pela ocorrência de uma DS crítica. Esta constatação ganha maior relevância quando contrastada com numerosas suposições contrárias, as quais apontam um efeito prejudicial da atividade pecuária na Amazônia.

A Densidade de Partículas não apresentou diferença estatística na ANOVA em nenhum dos tratamentos, conforme se observa na **Tabela 02** em ANEXO.

A Densidade de Partículas (DP) não apresentou diferenças estatísticas significativas em função dos tratamentos, vez que esse atributo reflete a natureza mineralógica do solo que não é diretamente alterada pelo seu uso e manejo. O valor médio encontrado neste trabalho foi de $2,66 \text{ g cm}^{-3}$ e é característico de solos caulíníticos (AMARO FILHO et al., 2008). Este dado é

corroborado por Souza (2010), que observou os mesmos valores de DP para um Argissolo Vermelho Amarelo em área de floresta de transição no estado de Roraima.

Cada mineral do solo possui densidade de partículas característica. O quartzo apresenta valores de aproximadamente $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ justificando os valores geralmente encontrados nos solos. A gibsita possui valor de $2,32 \text{ g cm}^{-3}$, a biotita possui valor de $2,80$ a $3,20 \text{ g cm}^{-3}$ e a hematita um valor de $4,80$ a $5,30 \text{ g cm}^{-3}$. A densidade de partículas de um solo representa a distribuição dos minerais presentes no solo (SKOPP, 2002).

5.3 Resistência à Penetração (RP)

A RP apresentou diferenças significativas entre as áreas, profundidades e na interação AxP (**Tabela 03 em ANEXO**). A comparação entre médias pode ser observada na **Tabela 05**.

Tabela 05: Valores médios de Resistência do Solo à Penetração (MPa), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função dos tratamentos e da profundidade.

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0 – 10	10 – 20	20 – 40
Floresta Natural (FN)	0,39 B c	1,90 B b	3,13 A a
Floresta Convertida (FC)	1,47 AB c	2,17 B b	2,94 A a
Savana Natural (SN)	2,05 A b	3,84 A a	4,07 A a
Savana Convertida (SC)	2,54 A c	4,32 A a	3,77 A b

OBS: letras maiúsculas para comparação entre os tratamentos em cada profundidade. Letra minúscula para comparação de profundidades dentro de cada tratamento.

Na profundidade de 0 a 10 cm do solo, o maior valor de RP foi encontrado na Savana Convertida ($2,54 \text{ MPa}$ com umidade de $0,11 \text{ g g}^{-1}$) e o menor na área de Floresta Natural ($0,39 \text{ MPa}$ com umidade de $0,30 \text{ g g}^{-1}$). Não houve diferença estatística significativa entre a RP e a

umidade da Savana Convertida e da Savana Natural (2,05 MPa e 0,11 g g⁻¹), o mesmo ocorreu entre a Floresta Natural e a Convertida (0,39 e 1,47 MPa e 0,30 e 0,22 g g⁻¹ respectivamente). O valor da RP para a Floresta Convertida foi intermediário entre os maiores valores (savanas) e o menor valor observado (Floresta Natural) não diferindo estatisticamente de ambos na profundidade de 0 a 10 cm.

A correlação entre umidade do solo e RP se faz necessária, pois a depender do teor de umidade do solo a planta necessita de maior força para penetrar seu sistema radicular, que é representada pela medição do penetrômetro em campo. Este trabalho foi realizado em pleno período chuvoso de Roraima, portanto no momento das medições de RP todos os solos estavam saturados, fato este que levou à igualdade entre os valores de umidade entre floresta e entre os de savana. Logo, os valores de RP variaram em função de outros atributos, como a DS e a textura. Contudo, ao se confrontar floresta com savana verifica-se que os maiores teores de umidade foram encontrados na floresta (0,30 e 0,22 g g⁻¹ para FN e FC respectivamente), enquanto nas duas savanas (SN e SC) foram registrados valores de 0,11 g g⁻¹ que contribuiu, junto com os demais atributos, para a ocorrência dos menores valores de RP para a floresta.

O valor da RP da área de Floresta Natural na profundidade de 0 a 10 cm foi classificado como baixo, enquanto na Floresta Convertida o valor da RP foi classificado moderado, segundo os critérios de ARSHAD et al. (1996). Tanto na Savana Natural como na Convertida o valor da RP foi classificado como alto. As áreas de floresta tropical tem como forte característica o acúmulo de material orgânico nas profundidades mais superficiais do solo, fato corroborado neste trabalho, onde os teores de matéria orgânica do solo foram 4,20 e 1,45 % nas profundidades de 0 a 10 cm e 20 a 40 cm respectivamente. No entanto as taxas de mineralização e reciclagem desse material em superfície, impedem de acumular-se profundidade, favorecendo a menor RP. Aliado a isso, o aumento no teor de argila nas profundidades mais profundas aumentam o valor da RP, o que explica o aumento significativo da RP com o aumento da profundidade tanto na Floresta Natural como na Convertida (**Figura 02 em ANEXO**).

Souza (2010) Verificou aumento considerável da RP com a profundidade. Este autor encontrou diferença estatística da RP de um Argissolo Vermelho Amarelo sob floresta de transição e área de pastagem nesta área (B. brizantha e umidícola), sendo observado valores de 0,41 e 1,48 MPa respectivamente, na profundidade de 0 a 10 cm, os quais foram semelhantes aos observados neste trabalho. Nas profundidades de 10 a 20 cm e 20 a 40 cm este autor também não verificou diferença estatística entre a RP da floresta e da pastagem,

entretanto apresentou valores de 1,61 MPa (10 a 20 cm) e 2,39 MPa (20 a 40 cm) para a floresta e 2,26 MPa (10 a 20 cm) e 2,75 MPa (20 a 40 cm) para a pastagem. O aumento considerável da RP a partir dos 20 cm observados no trabalho deste autor e nesse trabalho pode estar associado ao topo do horizonte Bt, onde os teores de argila aumentam consideravelmente, causando uma barreira à penetração das raízes.

Associando os valores de RP com a umidade do solo, Souza (2010) verificou que houve maior RP onde foi menor o teor de umidade, registrado os valores de 0,29, 0,16 e 0,15 g g⁻¹ para área de floresta nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm respectivamente. Na área de pastagem foi observado valores de 0,15, 0,14 e 0,13 g g⁻¹ nas mesmas profundidades. Esses valores foram inferiores aos valores encontrados neste trabalho, apesar disso, a RP encontrada por este autor foi menor, o que indica a interação de outras propriedades como a densidade e a textura no processo de compactação do solo.

A matéria orgânica no solo promove um melhor estado de agregação das partículas do solo e confere maior estabilidade a esses agregados, criando espaços porosos no solo por onde as raízes penetram. Com a conversão da floresta natural em áreas destinadas à produção, o sistema solo-planta entra em desequilíbrio, ou seja, a reciclagem do material orgânico fica comprometida devido à remoção da cobertura vegetal. O resultado disso é a diminuição dos teores de matéria orgânica e aumento da compactação superficial do solo pelo pisoteio animal, influenciando de forma negativa nos valores de RP.

Outro fator importante a considerar é a pressão exercida pelos animais sobre o solo que pode atingir valores da ordem de 350 a 400 kPa, podendo duplicar quando o animal está em movimento. Esses valores são superiores à pressão exercida por tratores sobre o solo, cujos valores podem variar de 30 a 150 kPa. A elevada pressão exercida pelos animais sobre o solo se deve ao fato de o seu peso se concentrar em uma pequena área (casco). As máquinas agrícolas, apesar de terem peso maior do que os bovinos, exercem pressão menor sobre a superfície do solo, vez que o seu peso é distribuído em uma área maior (pneus). A pressão exercida sobre o solo é o agente causador da compactação e há evidências de que a compactação superficial está relacionada a essa pressão; já a compactação subsuperficial está mais relacionada à carga total aplicada por eixo das máquinas agrícolas, independentemente da pressão exercida sobre a superfície. Isto ajuda a entender o fato de a compactação do solo causada pelo pisoteio animal se concentrar nas profundidades mais superficiais, até 5,0 cm de profundidade, conforme Flores et al., 2007.

Os valores da RP nas áreas de Savana Natural e Savana Convertida foram superiores aos valores encontrado na Floresta, provavelmente devido à atuação dos fatores de formação do

solo que reflete na coesão natural desses solos. Com a predominância de gramíneas e de arbustos de médio porte, e o material de origem proveniente de sedimentos pré-intemperizados da Formação Boa Vista, a savana está mais susceptível aos processos pedogenéticos de remoção que os solos sob floresta. Além disso, o aporte de material vegetal depositado sobre o solo é inferior na savana, ocorrendo maior adensamento das partículas do solo até mesmo pelo impacto das gotas de chuva na profundidade superficial em função da sua menor cobertura vegetal.

A menor RP observada na floresta é resultado da interação dos atributos físico-hídricos do solo que se inter-relacionam com fatores ambientais e características da cobertura vegetal, relações abordadas por Martins et al. (2003) que elencaram três fatores encontrados na floresta que contribuem para a menor susceptibilidade de degradação do solo, sendo: a) interceptação das gotas de chuva pelo dossel da mata, que possui um extrato vertical muito diversificado, resultando em maior proteção do solo; b) existência de uma rica profundidade de folhas (serapilheira); c) maiores teores de matéria orgânica, condicionando agregados de maior estabilidade e, por consequência, melhor estruturação e maior permeabilidade, os efeitos desses fatores também foram observados neste estudo.

Na profundidade de 10 a 20 cm ocorreu diferença estatística significativa entre área de floresta e área de savana, não se observando diferença entre Natural e Convertida. Os maiores valores de RP foram encontrados na área de Savana (4,32 MPa para a Convertida e 3,84 MPa para a Natural). Na profundidade de 20 a 40 cm não se observou diferença significativa em nenhuma área. Apesar disso, pode-se notar a ocorrência de um valor elevado na Savana Natural para esta profundidade de solo (4,07 MPa). Valores de RP acima de 2,0 MPa são considerados críticos para o desenvolvimento radicular (ARSHAD et al., 1996), embora valores de 2,5 MPa para pastagens (LEÃO et al., 2004), 3,0 MPa para floresta (ZOU et al., 2000) e 3,5 MPa para Sistema de Plantio Direto (TORMENA et al., 2007) tenham sido relacionados como críticos. Em campo foi possível se verificar o efeito da RP crítica para a savana, através da concentração do sistema radicular das espécies arbóreas nos primeiros 40 cm de profundidade.

Apenas na profundidade superficial da floresta foram encontrados valores inferiores a 2,0 MPa. Neste sentido, a área de Floresta Convertida apresentou melhores condições para o desenvolvimento radicular da pastagem que a Savana Convertida. No entanto, a profundidade superficial do solo sob Savana Convertida (2,54 MPa) não apresentou RP suficiente para restringir o desenvolvimento radicular em plantio direto (3,5 MPa). Já Beutler et al. (2004)

constatarem decréscimo na produção de arroz de sequeiro (cv. Caiapó) com RP a partir de 1,82 MPa.

Avaliando os valores de RP em função das profundidades observou-se incremento crescente dos valores com o aumento da profundidade, exceto na área de Savana Convertida. A análise estatística permitiu aferir que na Savana Natural ocorreu diferença significativa apenas entre as profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm (2,05 e 3,84 MPa respectivamente), a partir da profundidade de 20 a 40 cm não se obteve aumento significativo da RP. Na área de floresta (convertida e natural) houve diferença estatística em cada profundidade. O aumento da RP com a profundidade segue uma tendência em função do aumento no teor de argila, e pode-se observar que na Savana e na Floresta Convertidas o efeito da compactação foi superficial (até 20 cm).

Os valores encontrados neste trabalho foram inferiores aos encontrados por Feitosa (2009). Estudando as propriedades físicas e químicas em Argissolo Vermelho Amarelo sob floresta de Roraima, este autor encontrou valores de RP de 9,3 MPa em superfície e 10,5 MPa em subsuperfície. O grande contraste entre esses valores observados deve-se provavelmente ao período do ano em que foram coletados os dados, vez que a umidade do solo influencia fortemente a resistência à penetração, pois, a RP desse autor foi avaliada no período seco.

Barros et al. (2009) avaliaram a RP em um Argissolo Vermelho Amarelo sob savana natural de Roraima, sendo os valores de 1,48 MPa (0 a 20 cm) e 2,84 MPa (20 a 40 cm) inferiores aos observados neste trabalho. Esta diferença não pode ser associada à textura, pois ambos Argissolos possuem semelhante teor de areia e argila, e sim pela maior densidade do solo encontrada neste trabalho.

Silveira et al. (2010) indicaram que a RP é dependente de outros atributos do solo, a exemplo da umidade no momento da medida, textura, densidade do solo, estrutura, matéria orgânica, presença de rochas, mineralogia da argila e sistemas de uso e manejo. Estes autores encontraram valores elevados de RP mesmo com o solo na capacidade de campo (período chuvoso), sendo 1,47 e 2,66 MPa nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm respectivamente, em Argissolo Amarelo Distrocoeso na Bahia. No período seco estes autores registraram 8,67 e 9,78 MPa em 0 a 20 e 20 a 40cm respectivamente, bem superiores aos obtidos neste estudo.

Santana et al. (2006) identificaram a RP como atributo que melhor identificou a presença de horizontes coesos, a qual, avaliada em diferentes umidades do solo no campo, identificaram muito bem tais horizontes, que apresentaram valores mais elevados de resistência, tanto em condições mais úmidas como em baixa umidade. Estes autores encontraram valores de 1 MPa em Argissolo Acinzentado (PAC, no estado da Bahia) no

horizonte Ap contra 3,5 MPa no horizonte Bt, ambos avaliados na umidade gravimétrica de $0,10 \text{ g g}^{-1}$. Estes autores também observaram aumento significativo da RP com a diminuição do teor de umidade. Portanto, considerando os valores obtidos por Feitosa (2009) e neste estudo, a RP também é evidência da presença de horizonte coeso no Argissolo Amarelo Distrocoeso sob savana conforme descrito por Benedetti (2011).

5.4 Umidade Gravimétrica e Conteúdo de Água em Volume (θ)

A umidade gravimétrica e o conteúdo de água em volume apresentaram significância apenas para as áreas conforme se observa nos **Tabelas 04 e 05 em ANEXO**.

A Umidade Gravimétrica do solo apresentou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. Entretanto, a umidade não variou significativamente com o aumento da profundidade do solo em nenhum tratamento. As áreas de Floresta Natural e Convertida apresentaram os maiores valores para umidade em todas as profundidades, com uma média de $0,26 \text{ g g}^{-1}$ e $0,22 \text{ g g}^{-1}$ respectivamente. A umidade para a área de Savana Convertida e Natural foi significativamente inferior em todas as profundidades, com média de $0,11 \text{ g g}^{-1}$ para ambas (**Tabela 06**).

Tabela 06: Valores médios de Umidade Gravimétrica (g g^{-1}) e Conteúdo de Água em Volume ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função dos tratamentos e da profundidade.

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0 – 10	10 – 20	20 – 40
----- Umidade (g g^{-1}) -----			
Floresta Natural (FN)	0,30 A	0,26 A	0,23 A
Floresta Convertida (FC)	0,22 A	0,22 A	0,23 A
Savana Natural (SN)	0,11 B	0,11 B	0,12 B
Savana Convertida (SC)	0,11 B	0,11 B	0,11 B
----- θ ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) -----			
Floresta Natural (FN)	0,31 A	0,33 A	0,32 A
Floresta Convertida (FC)	0,29 A	0,30 A	0,31 A
Savana Natural (SN)	0,17 B	0,18 B	0,18 B
Savana Convertida (SC)	0,19 B	0,19 B	0,20 B

OBS: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferiram estatisticamente no teste de Tukey (5%).

A igualdade da umidade nas três profundidades de solo ocorreu devido à coleta de dados em plena estação chuvosa. Os valores inferiores da umidade na Savana influenciou também nos maiores valores de RP encontrados nesta área, vez que a Resistência à Penetração é função da densidade do solo e do seu conteúdo de água (SMITH et al., 1997). A umidade altera a coesão entre as partículas do solo. Assim, quando o solo está seco ou apresenta baixo conteúdo de água, suas partículas apresentam-se mais próximas e difíceis de serem separadas por qualquer força externa, justificando maiores valores de RP (BELTRAME et al., 1981).

A conversão dos ecossistemas naturais para área de produção não influenciou a UMG da Floresta nem da Savana (**Figuras 03 e 04 em ANEXO**). A elevada precipitação pluvial nesses ambientes permitiu a igualdade de condições para a comparação da RP, portanto este atributo foi influenciado apenas pelo nível de compactação do solo, que reduz os espaço poroso do solo, e não pela umidade do solo que esteve estatisticamente igual em todas as profundidades.

O conteúdo de água no solo pode ser fortemente influenciado pelo manejo adotado. Atributos como a densidade do solo e a porosidade influenciam fortemente no espaço disponível para o armazenamento e drenagem da água no solo. Nas áreas de Floresta a Densidade Aparente foi menor e a Porosidade Total foi conseqüentemente maior quando comparada às áreas de Savana. Isso explica os maiores valores de umidade gravimétrica e Conteúdo de Água nas áreas de Floresta Natural e Convertida. O maior conteúdo de água encontrado em área nativa pode ser decorrente da densa e permanente cobertura do solo proporcionada por elas, que causariam uma espécie de obstáculo ao processo evaporativo da atmosfera em períodos de estresse hídrico conforme descritos por Gonzalez; Álvez, (2005).

Feitosa (2009) estudando atributos físicos de Argissolo Vermelho Amarelo sob formações florestais em Roraima verificou percentagem de umidade variando de $0,066 \text{ g g}^{-1}$ em superfície a $0,073 \text{ g g}^{-1}$ na subsuperfície no período seco e em torno de $0,14 \text{ g g}^{-1}$ no período chuvoso, sendo correlacionado com os maiores valores de argila e da matéria orgânica do solo. Neste trabalho também não foi verificado um aumento significativo no teor de umidade conforme se aumentou a profundidade. Os teores de argila nas maiores profundidades contribuíram para a determinação dos valores médios de umidade de 23 g g^{-1} e 11 g g^{-1} na floresta e savana respectivamente. No entanto, na profundidade de 0 a 20 cm os maiores teores de matéria orgânica foram responsáveis pela retenção de água, permitindo teores de umidade estatisticamente iguais, sendo 30 g g^{-1} e 11 g g^{-1} na floresta e na savana

respectivamente. Portanto, pode-se observar a influencia de dois fatores (matéria orgânica e teor de argila) atuando conjuntamente na umidade do solo.

A determinação dos atributos que influenciam na umidade do solo, ganham ampla relevância no planejamento de empreendimentos agrícolas, visto que os Argissolos, principalmente os da região sul do estado de Roraima, podem acumular muita água no período chuvoso, o que inviabiliza diversas culturas a exemplo da melancia e do melão que são sensíveis ao excesso de água. Neste caso, o manejo da matéria orgânica deve ter como foco o aumento da CTC (Capacidade de Troca de Cátions) e da aeração do solo. Já em ambientes de savana, os veranicos que podem causar déficit hídrico à cultura são contornados por um bom estoque de matéria orgânica no solo. Portanto, deve-se ter o conhecimento da interação entre os atributos físicos, hídricos e químicos que interferem na umidade do solo e consequentemente na produção agrícola.

Lanzanova et al. (2010) avaliaram a umidade em um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de culturas em plantio direto e em campo nativo de Santa Maria - RS, após 16 anos de experimentação. Estes autores observaram diminuição da umidade influenciada pela instalação do sistema de cultivo, sendo os valores de 17 g g^{-1} para a profundidade de 0 a 10 cm e 15 g g^{-1} na profundidade de 10 a 40 cm para o campo nativo. Os sistemas de cultivo apresentaram umidade de 9 kg kg^{-1} (0 a 10 cm), 12 g g^{-1} (10 a 20 cm) e 14 g g^{-1} (20 a 40 cm). Os valores diferentes encontrados por estes autores representam a atuação dos fatores de formação da mesma classe de solo sobre seus atributos físicos em um ambiente bastante distinto da savana de Roraima.

Observando uma resposta semelhante à observada neste trabalho, Lanzanova et al. (2007) estudaram o efeito das pastagens sobre os atributos físicos de um Argissolo Vermelho Amarelo, obtendo valores de umidade entre 20 e 25 g g^{-1} nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 15 cm respectivamente, em um sistema de pastejo a cada 28 dias. Ao aumentar a frequência do pastejo para intervalos de 14 dias esses autores observaram diminuição do teor de umidade, onde $0,18 \text{ g g}^{-1}$ e $0,22 \text{ g g}^{-1}$ foram valores observados nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 15 cm respectivamente. Esses valores foram relacionados ao aumento sutil da densidade do solo promovida pelo pisoteio animal. Mesmo assim, a compactação ocorreu apenas nas profundidades superficiais do solo, comprometendo a retenção de umidade assim como o observado neste trabalho.

Dados como esse fornecem um importante subsídio para a determinação da intensidade do pastejo em uma propriedade rural, vez que essa intensidade provoca efeitos físicos, químicos e hídricos distintos em função do tipo de solo e do manejo adotado. Neste trabalho a

conversão de área nativa para pastagem/lavoura não provocou alterações estatisticamente significativas na umidade gravimétrica. Apesar disso, se nota um contraste maior com relação à umidade entre Floresta Natural e Floresta Convertida na superfície do solo (0,30 e 0,22 g g⁻¹ respectivamente). O mesmo não ocorreu nas áreas de Savana, mostrando que este bioma foi menos susceptível à implantação da pastagem.

Embora haja fundamental importância dos fatores pedoambientais nos atributos físico-hídricos do Argissolo Amarelo na Floresta e na Savana observados, outro fator que pode ter contribuído para isso é diferenciação no manejo dos bovinos nas duas propriedades, sendo a criação na savana mais tecnicada, envolvendo rotação de culturas e maior intensidade de pastejo.

Considera-se também o fato de que o aumento da densidade do solo, promovida pelo pisoteio animal, pode ser potencializada com teores de umidade inadequados conforme Baver et al., 1972. Portanto, o teor de umidade pode fornecer um indício ao pecuarista do momento ideal para o início da pastagem.

Neste sentido, Lima et al. (2006) encontraram forte correlação entre a pressão de pré-consolidação e a umidade do solo. A pressão de pré-consolidação refere-se à máxima pressão (animais ou máquinas) que pode ser aplicada ao solo antes da ocorrência de um incremento na compactação. A umidade elevada faz o preenchimento de grande parte dos poros do solo com água, facilitando a diminuição desses poros quando submetido a pressão pelo pisoteio. Eles concluíram que operações agrícolas efetuadas com umidade gravimétrica superior a 0,10 g g⁻¹ poderão causar compactação adicional para o solo estudado.

5.5 Porosidade Total

A Porosidade Total apresentou diferenças significativas no decorrer da profundidade profundidade, para as áreas e para a interação Área x Profundidade, conforme se observa na **Tabela 06 em ANEXO**.

Houve diferença significativa na Porosidade Total, sendo superior na Floresta Natural (0,60 dm³ dm⁻³) e inferior na Savana Convertida (0,37 dm³ dm⁻³) na profundidade de 0 a 10 cm. Nas demais profundidades do solo as áreas de Floresta foram significativamente superiores às áreas de Savana. Não houve diferença estatística da PT nos tratamentos com o aumento da profundidade (**Tabela 07**).

Tabela 07: Valores médios de Porosidade Total ($\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função dos tratamentos e da profundidade.

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0 – 10	10 – 20	20 – 40
Floresta Natural (FN)	0,60 A a	0,50 A a	0,48 A a
Floresta Convertida (FC)	0,49 B a	0,50 A a	0,48 A a
Savana Natural (SN)	0,41 BC a	0,36 B a	0,38 B a
Savana Convertida (SC)	0,37 C a	0,34 B a	0,39 B a

OBS: letras maiúsculas para comparação entre os tratamentos em cada profundidade. Letra minúscula para comparação de profundidades dentro de cada tratamento.

Benedetti et al. (2011) encontraram valores superiores de porosidade total em um Argissolo Amarelo sob savana de Roraima. Estes autores também não observaram diferença nos valores deste atributo com o aumento da profundidade, sendo o valor médio de $0,50 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ observado tanto no horizonte A (0 a 25 cm) como no Bt (43 a 105 cm). A ausência de diferença significativa pode estar relacionada com a análise apenas da porosidade total, a avaliação da macro e microporosidade poderia fornecer informações quanto à dinâmica da formação desses poros em ambiente de savana.

Estes valores são superiores aos observados por Souza (2010) em um Argissolo Vermelho Amarelo sob floresta natural e pastagem no estado de Roraima. Este autor encontrou valores de PT com $0,52$, $0,35$ e $0,33 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ nas respectivas profundidades 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm em área de floresta. Na área de pastagem foram observados valores de $0,42$, $0,38$ e $0,35 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ nas mesmas profundidades. Esta resposta se deve aos maiores valores de DS encontrados por este autor, salientando que a porosidade total é diretamente afetada pelo aumento da densidade do solo.

Para Cavenage et al. (1999), a distribuição da porosidade total de um solo ideal para a produção agrícola deve ser de $0,50 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$, sendo a distribuição de percentual de 1/3 para macroporos e 2/3 para microporos. O valor mínimo do espaço ocupado pelo ar deve ser de $0,10 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$, para que haja um desenvolvimento satisfatório do sistema radicular. Apenas os solos sob floresta apresentaram valores acima de $0,50 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$, sendo a porosidade na savana muito inferior. No entanto, essa limitação diz respeito às culturas melhoradas em outras condições pedoambientais, reforçando a tese do desenvolvimento de tecnologias específicas para o desenvolvimento da agricultura na realidade amazônica (savana e floresta),

que incluem o melhoramento vegetal, recomendações de adubação e de manejo mecânico do solo.

A conversão do ambiente natural influenciou nesse atributo apenas nas profundidades mais superficiais do solo, sendo observada redução da PT com a conversão da Floresta Natural. A área de Savana Natural apresentou uma redução da PT insuficiente para configurar a diferença estatística. Neves Júnior (2005) afirma que a porosidade excessiva é prejudicial à absorção de água e nutrientes pelas raízes, devido ao menor contato solo/raiz, provocando também menor desenvolvimento das plantas.

Paiva et al. (2006) observaram reduções de $0,23 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ no horizonte AB do Latossolo e de 18,1 % no horizonte Bt de Argissolo Acinzentado (PAC), ambos horizontes coesos. Estes autores encontraram valores de PT de $0,42 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ no horizonte superficial antropizado (Ap) e $0,34 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ no horizonte Bt do PAC. A PT observada por estes autores em superfície foi superior a PT encontrada na Savana Convertida e inferior às áreas de Floresta deste trabalho. Em parte, pode se aferir que a maior PT encontrada por estes autores reflete a diferença de manejo do solo, pois na Savana Convertida em pastagem não houve revolvimento do solo durante 16 anos, enquanto que no cultivo de citros (condição dos autores) os dados refletem um estado de desagregação temporária do solo provocada pela mecanização.

Silva et al. (2008) avaliaram a PT de um Argissolo Vermelho textura arenosa sob diversos sistemas de cultivo e em cerrado nativo, observando valor médio de $0,48 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ para o cerrado e $0,45 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ para as áreas cultivadas. Santana et al. (2006) encontraram valores de $0,42 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ na profundidade de 0 a 10 cm e $0,33 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ de 20 a 40 cm em Argissolo Acinzentado textura franco-argilo-arenosa sob cultivo de citro com 16 anos de implantado. Estes autores observaram também que o horizonte Bt se encontrava na profundidade de 40 a 80 cm com valor de PT de $0,34 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$.

Lazanova et al. (2010) não observaram diferenças entre a PT de um Argissolo Vermelho Amarelo (em Santa Maria – RS) em um campo nativo e em sistema de plantio direto no primeiro ano de implantação, com média de $0,45 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ na profundidade de 0 a 16 cm. Estes autores observaram aumento da PT na superfície do solo (0 a 5 cm) e diminuição a partir dos 10 cm, após 16 anos de implantação do sistema, registrando valores médios de $0,50 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ de 0 a 5 cm, $0,39 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ de 5 a 10 cm e $0,37 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ de 10 a 20 cm. Apesar do sistema de cultivo e da distância geográfica entre o Argissolo de Roraima com o do Rio Grande do Sul, os valores revelados se mostraram semelhantes, sendo ligeiramente inferiores na Savana Convertida e superiores na Floresta Convertida. A PT em campo nativo do

trabalho supracitado foi semelhante à PT da Savana Natural e muito inferior à Floresta Natural, o que pode ser explicado em parte pela diferença de cobertura vegetal densa da Floresta Amazônica versus pastagem nativa no estado do RS, e demais fatores de formação como o clima e o material de origem.

Lanzanova et al. (2007) observaram valores de $0,55 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ (0 a 5 cm), $0,48 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ (5 a 15 cm) em Argissolo Vermelho Amarelo sob pastagem de inverno rotacionada com milho e soja no verão. No campo nativo estes autores verificaram maiores valores de PT, sendo $0,62 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ e $0,57 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ na profundidade de 0 a 5 cm e 5 a 15 cm respectivamente. Os valores encontrados por estes autores não foram suficientemente discrepantes para caracterizar a degradação física do solo, bem como ocorreu neste trabalho. As áreas naturais (Floresta e Savana) não apresentaram diferença estatística na PT por ocasião da conversão em nenhuma profundidade, à exceção da profundidade de 0 a 10 cm na Floresta.

A porosidade total neste trabalho relacionou-se inversamente com a densidade do solo, sendo maior a PT onde foi menor a DS, relação já discutida por Marcolan (2002) que observou maiores valores de porosidade onde se obteve menor densidade do solo. Este autor encontrou diminuição drástica da porosidade, com valores de $0,56 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ na profundidade de 0 a 2,5 cm e $0,40 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ na profundidade de 2,5 a 5 cm em sistema de plantio direto com 12 anos de implantação sobre Argissolo Vermelho Distrófico no estado de RS.

5.6 Estabilidade de Agregados

Todas as classes de agregados apresentaram diferenças estatísticas no teste de Fisher (5%) em uma profundidade ou outra, à exceção da classe de 2 a 1 mm e da $<0,106 \text{ mm}$ (**Tabela 07**).

Na classe de agregados de 4 a 2 mm as maiores porcentagens de agregados retidos na peneira ficou por conta dos tratamentos FN e FC (59,22 % e 57,55 % respectivamente) e a menor porcentagem foi observada na SC (39,31 %), sendo a SN (49,55 %) o valor intermediário na profundidade de 0 a 10 cm (**Tabela 08**).

Tabela 08: Resultado da comparação entre médias (Tukey a 5%) de classes de agregados em função das Áreas.

Classes de Agregados (mm)	TRAT	Profundidade (cm)		
		0 a 10	10 a 20	20 a 40

4 a 2	FN	59,22 A	55,60 A	51,37 A
	FC	57,55 A	55,87 A	57,76 A
	SN	49,55 AB	47,40 A	40,96 AB
	SC	39,31 B	36,60 A	31,34 B
2 a 1	FN	21,87 A	22,75 A	24,92 A
	FC	20,57 A	21,52 A	19,60 A
	SN	21,66 A	25,23 A	22,33 A
	SC	20,36 A	21,90 A	20,85 A
1 a 0,5	FN	3,69 B	6,46 AB	8,31 AB
	FC	5,71 AB	6,20 B	7,68 B
	SN	5,88 AB	7,88 AB	9,04 AB
	SC	9,87 A	12,12 A	13,23 A
0,5 a 0,25	FN	3,80 B	3,93 B	5,69 B
	FC	4,31 B	4,94 B	5,04 B
	SN	7,08 B	7,20 B	9,40 AB
	SC	12,32 A	14,0 A	15,02 A
0,25 a 0,106	FN	1,56 C	1,56 B	2,46 B
	FC	2,42 BC	2,36 B	2,42 B
	SN	4,69 B	4,44 B	6,08 AB
	SC	7,91 A	8,07 A	9,20 A
< 0,106	FN	9,83 A	9,68 A	7,22 A
	FC	9,42 A	9,09 A	7,47 A
	SN	11,12 A	7,84 A	12,17 A
	SC	10,22 A	7,30 A	10,33 A

OBS: FN: Floresta Natural; FC: Floresta Convertida; SC: Savana Convertida; SN: Savana Natural.

Esta tendência se repetiu em todas as profundidades, apesar de não ocorrer diferença estatística entre 10 e 20 cm. Essa ausência de significância pode ser explicada pelo elevado CV encontrado nesta profundidade, o que influenciou indiretamente na diferença média significativa (dms) do teste de Tukey já que o CV reflete o desvio padrão das médias, ou seja, as médias devem apresentar uma amplitude maior para serem estatisticamente diferentes. A menor porcentagem de agregados retidos nesta peneira para a SC indica que a

conversão da Savana Natural em área agrícola provocou alteração no tamanho dos agregados, fato este que não ocorreu na conversão da Floresta Natural.

Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos dentro da classe de 2 a 1 mm na profundidade de 0 a 10 cm. Na classe de 1 a 0,5 mm a maior porcentagem de agregados foi observada para SC (9,87 %), não diferindo estatisticamente da SN (5,88 %) e FC (5,71 %). A FN (3,69 %) foi estatisticamente inferior à SC, porém não diferiu da FC. Nas demais profundidades os menores valores foram encontrados na FC, mas a tendência seguiu-se a mesma.

Na classe de 0,5 a 0,25 mm a maior porcentagem de agregados foi observada na SC (12,32 %), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos na profundidade de 0 a 10 cm. A conversão da FN para FC mais uma vez não afetou o tamanho dos agregados. Observou-se o mesmo padrão de resposta nas demais profundidades.

Na classe de 0,25 a 0,106 mm a maior porcentagem de agregados retidos foi observada na SC (7,91 %) que diferiu estatisticamente da FN (1,56 %), FC (2,42 %) e da SN (4,69 %) dentro da profundidade de 0 a 10 cm. Na profundidade de 10 a 20 cm a maior porcentagem foi observada também na SC que diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. Já na profundidade de 20 a 40 cm não foi observada diferença estatística entre SC e SN apesar do valor maior na primeira. Não foi observada diferença entre FN e FC nessas duas profundidades. Na classe menor que 0,106 mm não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos em nenhuma profundidade. Em todas as classes de agregados a porcentagem retida foi ligeiramente superior na profundidade superficial de 0 a 10 cm, fato ocorrido pelo maior teor de matéria orgânica em superfície.

Souza (2010) também não observou diferença estatística entre a porcentagem de agregados de uma floresta natural (área de transição) e uma pastagem sobre Argissolo Vermelho Amarelo no estado de Roraima. Este autor verificou que mais de 90 % dos agregados dessas duas áreas ficaram retidos na malha de 2 a 4 mm, ou seja, a maior parte de seus agregados eram grandes e estáveis, o que reflete a boa estrutura do solo promovida pela pastagem e pela floresta. Resposta semelhante foi observada neste estudo, porém com porcentagem inferior (59 % para floresta natural e 57 % para pastagem na profundidade de 0 a 10 cm). Já na classe de 1 a 2 mm a porcentagem de agregados retidos neste trabalho foi superior ao encontrado por este autor, sendo 2,04 % para a floresta e 2,0 % para a pastagem na profundidade de 0 a 10 cm.

Neste trabalho mais da metade dos agregados das profundidades de 10 a 20 e 20 a 40 cm foram retidos na malha de 2 a 4 mm, dado corroborado por Souza (2010). Este autor

também verificou que o tamanho dos agregados diminuiu com o aumento da profundidade, provavelmente pela diminuição dos teores de matéria orgânica que é um excelente agente cimentante e contribui para a formação dos agregados. A formação dos agregados estáveis nas profundidades onde a matéria orgânica é escassa se deve pela ação de outros agentes agregantes e cimentantes como os óxidos de ferro e alumínio e pela atuação de microorganismos associados a sistemas radiculares mais profundos. Isso talvez explique os valores próximos de porcentagem de agregados encontrados entre savana e floresta, uma vez que os teores de matéria orgânica neste último são muito superiores.

A instalação de pastagens na Amazônia tem estimulado opiniões divergentes no meio científico. Sob a ótica desse atributo físico a conversão de FN para FC não afetou significativamente o tamanho dos agregados em nenhuma das profundidades, ou seja, não houve efeito prejudicial à agregação do solo com a instalação da pastagem. O mesmo não ocorreu em área de savana devido ao histórico da área que envolve o plantio mecanizado num período mais recente. As práticas agrícolas que envolveram o revolvimento do solo provocaram a destruição e pulverização da estrutura do solo, reduzindo os agregados em classes menores, comprometendo a porosidade total e outras propriedades relacionadas com a aeração e a dinâmica da água no solo. Aliado a isso, o revolvimento expõe a matéria orgânica do solo à maior aeração provocando sua maior oxidação.

Diversos autores destacam o efeito positivo das gramíneas na agregação do solo, em decorrência da maior incorporação de matéria orgânica, que atua como um eficiente agente cimentante e altera as ligações entre as partículas do solo (CAMPOS et al., 1995; SILVA; MIELNICZUK, 1998). Isso explica, em parte, a igualdade na porcentagem de agregados entre a Floresta Nativa e Floresta Convertida. Outro fator importante é o tempo de 25 anos de instalação da pastagem, que pode ter sido suficiente para estabilizar a estrutura do solo. Já para as áreas de cerrado nativo, esses autores observaram a ocorrência de agregados maiores e mais estáveis, sendo necessária maior energia cinética para destruí-los em comparação com sistemas de rotação milho-adubo verde, onde a gramínea mostrou maior ação agregante que as leguminosas.

A menor porcentagem de agregados encontrada na Savana Convertida também pode estar relacionada ainda com a prática da calagem. Albuquerque et al. (2003) observaram diminuição do grau de floculação da argila após a aplicação de calcário. Esses autores atribuíram isso às alterações ocorridas na superfície das partículas, que refletem a diminuição das forças de atração entre os colóides, facilitando a dispersão em meio aquoso.

Essa dispersão dos colóides pode reduzir os fluxos de solução e ar do solo, pois diminui o diâmetro e o volume dos poros, com conseqüente redução da taxa de infiltração de água.

Esta dinâmica explica também porque a Savana Natural apresentou valores de porcentagem de agregados na classe de 4 a 2 mm semelhantes aos da Floresta, uma vez que o Al^{3+} e o H^+ são os principais agentes floclulantes em solos ácidos (MORELLI; FERREIRA, 1987), pois, os solos são ácidos e com elevada concentração de alumínio trocável, mesmo que na savana não haja o mesmo aporte de matéria orgânica.

A dinâmica da formação de agregados estáveis no solo envolve muitos fatores que interagem de forma complexa e diferente nos ambientes de savana e floresta convertidos em áreas produtivas. Exemplificando isso, Marcolan (2002) afirma que no solo pode haver a formação de humatos de cálcio, pela ligação do cálcio com o material orgânico, resultando em maior estabilidade dos agregados com diâmetro superior a 2 mm. Este autor verificou maior índice de estabilidade de agregados (DMPumido/DMPseco) em sistema de plantio direto que em sistema de plantio convencional ambos com 12 anos de implantação em Argissolo Vermelho Distrófico. Apesar do possível impacto negativo momentâneo sobre os atributos físicos do solo na ocasião de revolvimento inicial do solo, posteriormente há uma recuperação parcial quando o solo é mantido sem revolvimento, processo que pode ter ocorrido nas áreas estudadas.

O teste F indicou diferença estatística significativa no Diâmetro Médio Geométrico e o Ponderado (DMG e DMP) apenas entre as áreas, não sendo encontrada diferença entre as profundidades e a interação A x P (**Tabelas 08 e 09 no Anexo**).

O DMG e DMP (**Tabelas 09 e 10, e Figura 06 no Anexo**) dos agregados são indicativos da estabilidade da estrutura do solo. Não foi observada diferença estatística para estes atributos até a profundidade de 20 cm. Na profundidade de 20 a 40 cm os maiores DMP e DMG foram encontrados na floresta seguindo a mesma tendência observada até o momento que indica melhores condições físico-hídricas para o solo sob este ambiente.

Tabela 09: Valores médios de Diâmetro Médio Geométrico (mm), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função dos tratamentos e da profundidade.

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0 – 10	10 – 20	20 – 40
Floresta Natural (FN)	1,45 A	1,42 A	1,41 AB
Floresta Convertida (FC)	1,41 A	1,39 A	1,47 A

Savana Natural (SN)	1,19 A	1,26 A	0,96 AB
Savana Convertida (SC)	0,94 A	0,99 A	0,84 B

OBS: letras maiúsculas para comparação entre os tratamentos em cada profundidade.

Tabela 10: Valores médios de Diâmetro Médio Ponderado (mm), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função dos tratamentos e da profundidade.

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0 – 10	10 – 20	20 – 40
Floresta Natural (FN)	2,15 A	2,08 A	2,00 AB
Floresta Convertida (FC)	2,10 A	2,07 A	2,11 A
Savana Natural (SN)	1,89 A	1,90 A	1,68 AB
Savana Convertida (SC)	1,62 A	1,58 A	1,43 B

OBS: letras maiúsculas para comparação entre os tratamentos em cada profundidade.

Apesar de não obter significância, pode-se observar um decréscimo sutil do DMG e DMP na área de SC. Os maiores teores de matéria orgânica nos solos sob floresta correlacionam-se com a maior estabilidade de agregado dado o papel fundamental desta na floculação de argila e cimentação dos agregados. Na área SC os dois índices refletem o efeito da mecanização na destruição dos agregados. Esta destruição poderia ser mais severa se não houvesse a incorporação de resíduos vegetais ao solo, prática descrita em alguns trabalhos como benéfica por promover a incorporação da matéria orgânica e melhorar sua estrutura.

Silva et al. (2008) contrastaram o efeito de vários cultivos (mandioca, milho, milheto, mucuna e sorgo) com a vegetação nativa em Argissolo Vermelho de textura arenosa sob cerrado, identificando diminuição significativa do DMP com um ano de plantio. No entanto, esses autores verificaram que 15 meses após houve restabelecimento da estrutura do solo, sendo o DMP das áreas cultivadas igual ao da vegetação nativa (com valor médio de DMP de 7 mm). Esse resultado foi atribuído à alta densidade de raízes, ao aporte de matéria orgânica e à distribuição uniforme dos exsudatos no solo, que estimulam a atividade microbiana. Os valores encontrados por estes autores foram superiores aos observados neste trabalho, onde o valor médio foi de 2 mm para Floresta e 1,68 para Savana. Vale ressaltar também que um agregado de elevado DMP nem sempre apresenta elevada distribuição de poros no seu interior, o que implica a qualidade estrutural (BERTOL et al., 2004).

A formação de macroagregados pareceu estar relacionada à presença de raízes mais abundantes sob pastagem de gramíneas. O mesmo foi observado por Salton et al. (2008) que

avaliou a agregação do solo e a estabilidade dos agregados em diferentes sistemas de manejo do solo, incluindo lavouras em plantio direto, lavouras (soja) em rotação com pastagens em plantio direto e pastagens permanentes de *Brachiaria* sp., obtendo agregados maiores e mais estáveis em solos com pastagens, com forte efeito dos teores de argila e de carbono no solo.

Por meio da razão DMP área convertida/DMP área natural se obteve o Índice de Sensibilidade (IS) (**Tabela 11**). O IS é um parâmetro utilizado para a constatação de degradação ou não de um solo após a conversão de ambiente natural para ambiente agrícola. Quando o IS é maior que 1 (um) significa que a estabilidade dos agregados aumentou, e quando menor diminuiu.

Comparando FN com FC pode-se verificar que apenas na profundidade de 0 a 10 cm o IS foi inferior a 1. Na profundidade de 20 a 40 cm o IS foi superior a 1, indicando melhoria sutil na estabilidade de agregados. Neste sentido, a conversão da Floresta Natural em pastagem não provocou alterações físico-hídricas drásticas ao ponto de classificá-la como uma prática degradante. Mesmo após 16 anos de instalação, a pastagem na floresta parece ter mantido a qualidade do solo, o que tem sido evidenciado pelos demais atributos analisados. Este tipo de comportamento diverge de muitas opiniões contrárias à instalação de empreendimentos agrícolas na floresta Amazônica, as quais afirmam que a pecuária é uma das principais atividades responsáveis pela degradação do solo nesse ambiente.

Nas áreas de SN e SC o IS foi inferior a 1 em todas as profundidades da SC. Ao contrário dos demais atributos analisados até o momento, o IS da SC indicou que houve diminuição na estabilidade dos agregados com a instalação da pastagem. Isso pode ser explicado também pelo menor teor de argila no Argissolo Amarelo sob savana, quando comparado com o Argissolo Amarelo sob floresta, pois altos teores de argila, matéria orgânica e predominância de minerais de carga variável geralmente caracterizam solos com maior resistência às alterações físicas oriundas do manejo (SILVA; MIELNICZUK, 1998).

Tabela 11: Índice de Sensibilidade para a comparação entre área convertida e área natural.

TRATAMENTOS	PROFUNDIDADE		
	0 – 10 cm	10 – 20 cm	20 – 40 cm
FLORESTA NATURAL	1,00	1,00	1,00
FLORESTA CONVERTIDA	0,98	1,00	1,06
SAVANA NATURAL	1,00	1,00	1,00
SAVANA CONVERTIDA	0,88	0,85	0,86

O Grau de Floculação (GF) e a Argila Dispersa (ARGD) apresentaram diferenças estatísticas no teste de Fisher nas áreas, profundidades e na interação entre estes (**Tabelas 10 e 11 em ANEXO**).

O GF das áreas de floresta superiores tanto na SN como na SC, porém a diferença estatística ocorreu apenas na profundidade de 20 a 40 cm, onde a FN apresentou o menor GF (**Tabela 12 e Figura 14 em ANEXO**). Não houve diferença entre o GF da FN e FC em nenhuma profundidade, no entanto os valores ficaram mais próximos na profundidade de 0 a 10 cm, que pode ser um indicativo do efeito benéfico da pastagem sobre este atributo. Entre SN e SC também não houve diferença estatística.

Tabela 12: Valores médios de Grau de Floculação (%), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função dos tratamentos e da profundidade.

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0 – 10	10 – 20	20 – 40
Floresta Natural (FN)	73,05 A a	72,85 A a	60,21 B b
Floresta Convertida (FC)	76,92 A a	68,61 A b	66,84 AB b
Savana Natural (SN)	87,56 A a	77,94 A b	83,01 A ab
Savana Convertida (SC)	88,58 A a	77,52 A b	79,30 A b

OBS: letras maiúsculas para comparação entre os tratamentos em cada profundidade. Letra minúscula para comparação de profundidades dentro de cada tratamento.

A ARGD apresentou uma resposta inversa, devido este atributo ser negativamente correlacionado com o GF, ou seja, quanto mais a argila está dispersa, menor o grau de floculação (**Tabela 13**). A dispersão da argila versus o seu grau de floculação são fatores preponderantes na formação e estabilização dos agregados do solo. As maiores porcentagens de ARGD foram observadas nas áreas de floresta em todas as profundidades. Não diferiram estatisticamente a FN e a FC. As áreas de savana também não diferiram uma da outra, no

entanto a porcentagem de ARGD foi aumentando com a profundidade, fato que ocorreu também nas áreas de floresta. Isso explica também o menor GF encontrado nas maiores profundidades.

Tabela 13: Valores médios de Argila Dispersa (%), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função dos tratamentos e da profundidade.

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0 – 10	10 – 20	20 – 40
Floresta Natural (FN)	6,80 A b	8,00 AB b	13,00 A a
Floresta Convertida (FC)	6,20 A c	11,60 A b	15,40 A a
Savana Convertida (SC)	1,20 A b	3,80 B a	4,60 B a
Savana Natural (SN)	1,40 A b	4,20 B a	3,80 B a

OBS: letras maiúsculas para comparação entre os tratamentos em cada profundidade. Letra minúscula para comparação de profundidades dentro de cada tratamento.

Os maiores teores de matéria orgânica do solo (MOS) observados nas profundidades mais superficiais do solo explicam as maiores porcentagens de GF tanto em savana com em floresta, pois a MOS apresenta relação positiva com o GF, pois é um dos principais agentes floculantes. Essa diferenciação na estabilidade estrutural do solo provocada pela matéria orgânica já foi comprovada em ensaios de laboratório, que demonstram a influência do tipo de material orgânico e, em especial, das substâncias húmicas sobre a estabilidade coloidal de suspensões com argilas. O aumento da floculação das partículas estaria ligado a modificações eletrostáticas derivadas dos compostos orgânicos (ALBUQUERQUE et al., 2003).

Nas áreas de savana o GF pode estar relacionado com a atuação dos íons Al^{3+} e H^+ que também são importantes agentes floculantes. A calagem do solo pode correlacionar-se positivamente ou negativamente com o GF. No primeiro caso a calagem pode proporcionar aumento na produção de biomassa vegetal (variedade e quantidade), aumentando também a população microbiana que intensifica a decomposição desta e contribui para o aumento do GF da argila. Outra modificação resultante da calagem com influência sobre os atributos físicos do solo é a diminuição na atividade de Al^{3+} e H^+ na solução do solo, que são os principais agentes floculantes em solos ácidos (MORELLI; FERREIRA, 1987). Nesse caso, há precipitação de polímeros de hidróxidos de Al, pelo aumento do pH do solo.

A estabilidade dos agregados entre ambientes naturais e convertidos observadas neste trabalho, indicam que a conversão não prejudicou a qualidade físico-hídrica do Argissolo Amarelo em Roraima. A maioria dos atributos apresentaram-se contrastantes ao se comparar floresta com savana, provavelmente pela combinação dos fatores de formação do solo, principalmente o material de origem e a vegetação. O Argissolo Amarelo sob savana deste trabalho tem origem em sedimentos pré-intemperizados da formação Boa Vista, enquanto no PA floresta há indícios que este tenha se originado pela intemperização das cangas lateríticas, material rico em ferro. Portanto, muitos estudos ainda devem ser feitos, abordando mais fitofisionomias de florestas e savanas, além de mais áreas de pastagem em mais classes de solos, para compreender a pedologia nestes dois ecossistemas e elaborar alternativas para o desenvolvimento sustentável da região.

Souza (2010) não verificou diferença estatística ao comparar o GF de um Argissolo Vermelho a Amarelo sob vegetação natural (floresta de transição com a savana) com um sistema de pastagem em pousio (*Brachiaria brizantha* e *umidicola*) no estado de Roraima. Este autor observou valores médios de 93 e 90 % para a floresta de transição e em pastagem respectivamente na profundidade de 0 a 10 cm. Este autor associou o elevado GF aos teores de MOS elevados nesta profundidade, encontrando valores superiores na pastagem, os quais foram 1,85 e 2,13 dag kg⁻¹ para floresta e pastagem respectivamente. Entretanto, esses valores de MOS citados foram inferiores aos observados neste trabalho (Tabela 37), indicando que existe uma interação complexa entre a matéria orgânica e a mineralogia do solo na formação dos agregados, não permitindo a análise isolada de apenas um atributo, mesmo sendo a MOS o principal agente flocculante conforme descrito por Filho (2008).

5.7 Capacidade de Água Disponível (CAD) e Retenção de Umidade (RU)

A interação Profundidade x Áreas (P x A) não foi significativa, ou seja, eles agem de forma independente (**Tabela 12 em ANEXO**). Os efeitos das áreas sobre a CAD independem da profundidade e vice versa. Portanto observa-se a comparação entre as médias isoladamente em áreas e profundidade (**Tabelas 14 e 15 e Figura 08 em ANEXO**).

Tabela 14: Valores médios de Capacidade de Água Disponível (%), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função dos tratamentos.

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0 – 10	10 – 20	20 – 40

Floresta Natural (FN)	10,64 A	9,84 A	10,70 A
Floresta Convertida (FC)	7,34 B	7,80 A	9,90 A
Savana Natural (SN)	5,92 B	7,02 A	9,52 A
Savana Convertida (SC)	6,06 B	7,34 A	8,28 A

OBS: letras maiúsculas para comparação apenas entre os tratamentos.

Tabela 15: Valores médios de Capacidade de Água Disponível (%), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função das profundidades.

Profundidade (cm)				
	FN	FC	SN	SC
0 – 10	10,64 a	7,34 b	5,92 b	6,06 b
10 – 20	9,84 a	7,80 ab	7,02 b	7,34 ab
20 – 40	10,70 a	9,90 a	9,52 a	8,28 a

OBS: letras minúsculas para comparação apenas entre as profundidades.

A CAD foi estatisticamente maior na FN (10,64 %) apenas na profundidade de 0 a 10 cm. Nesta mesma profundidade não diferiram estatisticamente os demais tratamentos. Nas demais profundidades os tratamentos também não diferiram apesar da tendência de maiores valores na FN. Na comparação isolada das profundidades observou-se que o tratamento FN não apresentou diferença significativa com o aumento da profundidade. A CAD de todas as áreas foi menor na profundidade mais superficial, provavelmente pelo menor teor de argila, devido a presença do gradiente textural, que é característica diagnóstica dos Argissolos, conseqüentemente se observa menor volume de microporos, armazenando menores quantidades de água.

A maior CAD nas áreas de floresta pode está associada aos maiores teores de matéria orgânica, principalmente na profundidade de 0 a 10 cm. A FC exemplifica como a remoção da vegetação natural pode afetar as propriedades físicas do solo diretamente relacionadas com a CAD como densidade, porosidade e matéria orgânica. A conversão do sistema natural pode ter comprometido a capacidade de armazenamento de água deste solo, o que afetará no manejo da irrigação em futuros projetos agrícolas para estas áreas. Outro aspecto a ser considerado é a proteção do solo proporcionada pela copa das árvores, que afetam indiretamente nos maiores valores de CAD.

Souza (2010) não observou diferença estatística entre a CAD de um Argissolo Vermelho Amarelo sob floresta natural e sob pastagem em Roraima, encontrando valores médios de 4,16, 6,24 e 6,28 % nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm respectivamente. Na área de pastagem foram observados valores de 4,8, 5,58, e 6,22 % nas mesmas profundidades. Este autor encontrou valores de densidade do solo superiores, a porosidade total e o teor de matéria orgânica foram inferiores aos desse trabalho. Esses são atributos diretamente relacionados com a capacidade de armazenamento de água do solo, o que explica os maiores valores de CAD encontrados neste trabalho.

A CAD encontrada nas áreas de savana mostrou uma resposta inversa à da floresta. Os maiores valores foram observados na Savana Convertida, porém não houve diferença estatística. Esta resposta converge com a resposta dos demais atributos para indicar que a savana não apresentou degradação físico-hídrica do solo após a conversão. A CAD no Argissolo sob savana convertida foi melhor, estando associado à implantação da pastagem plantada, proporcionando maior incorporação de biomassa quando comparada com a pastagem natural podendo indicar a sustentabilidade de um manejo adequado do solo.

Observou-se neste trabalho que a capacidade de retenção de água de um solo dependerá da porosidade total, que é influenciada pela textura, estrutura, matéria orgânica e mineralogia do solo. Esta propriedade está relacionada ao transporte e armazenamento de água, à erosividade e ao teor de água disponível do solo, mesma dinâmica observada por Alves, 2008. Talvez a CAD na profundidade de 20 a 40 cm está em função da presença de maior quantidade de microporos, consequência do maior teor argila. Já nas profundidades até 20 cm a CAD é função dos teores de MOS.

Na savana o acúmulo de biomassa vegetal não se equipara ao da floresta, aliado a isso, as elevadas taxas de mineralização da MOS evitam esse acúmulo na superfície do solo. O resultado disso é que no PA da savana natural a CAD é menor até a profundidade de 20 cm, devido aos menores teores de MOS. Apesar de não haver diferença estatística, pode-se observar um ligeiro aumento da CAD quando comparamos savana natural com savana convertida que está associada ao teor de MOS superior devido à implantação das culturas em plantio direto na SC. Esta resposta evidencia mais uma vez que a implantação de culturas bem manejadas pode manter a qualidade física do solo pela incorporação de MOS. O PA da savana convertida apresentou maiores teores de areia total, de argila dispersa, menor diâmetro médio geométrico e menor grau de floculação, características que somadas provocariam uma CAD inferior. No entanto, o maior teor de MOS na SC proporcionaram uma CAD ligeiramente superior na SC.

Nos horizontes mais arenosos (0 a 20 cm) a macroporosidade é elevada e predomina a circulação hídrica vertical. Relacionando a CAD com a textura do solo, pode-se confirmar esta relação, sendo a CAD menor nas profundidades com maior porcentagem de areia. A CAD das áreas pode ter se diferenciado devido às áreas de floresta apresentarem teor médio de areia em torno 65 % enquanto na savana apresentou média de 80 % na profundidade de 0 a 10 cm. Na profundidade de 20 a 40 cm a floresta apresentou teor médio de 55 %, enquanto na savana o teor médio foi de 68 %. Vale ressaltar que os teores de MOS podem compensar os elevados teores de areia e influenciar de forma marcante na CAD, não sendo visualizados pela textura.

Outros atributos relacionados com a capacidade do solo reter água são a densidade, a porosidade e o tamanho dos agregados. Confirmando esta hipótese, observou-se que os maiores DMG dos agregados encontrados na floresta (1,45 mm) correlacionaram-se positivamente com sua CAD. Enquanto isso na savana se obteve valores menores de DMG (1,0 mm), conferindo-lhes menor CAD. Essa dinâmica está relacionada com o espaço poroso proporcionado pela agregação do solo, permitindo maior infiltração e retenção da umidade em solos bem estruturados. A desestruturação do solo em função de um manejo inadequado pulveriza os agregados provocando o entupimento dos espaços porosos, dificultando a infiltração da água no solo.

A Retenção de Umidade (RU) foi analisada de forma isolada para cada profundidade conforme pode ser visto nas tabelas e figuras seguintes. O teste de Fischer identificou diferença estatística entre as áreas para a umidade do solo retida em cada tensão (**Tabela 16 em ANEXO**).

Na profundidade de 0 a 10 cm (**Tabela 17 e Figura 09**) a retenção de umidade foi estatisticamente superior na FN, onde a umidade de $0,23 \text{ g g}^{-1}$ foi atribuída à tensão na capacidade de campo (- 10 kPa) e a umidade de $0,12 \text{ g g}^{-1}$ à tensão no ponto de murcha permanente (- 1.500 kPa). A FC diferiu tanto da FN como das áreas de savana, sendo os valores de umidade de $0,17 \text{ g g}^{-1}$ na capacidade de campo e $0,10 \text{ g g}^{-1}$ no ponto de murcha permanente. Não diferiram estatisticamente entre si as duas áreas de savana, porém estas diferiram das áreas de floresta, apresentando valores inferiores de umidade.

Tabela 17: Valores médios de Umidade do Solo nos Potenciais (kPa), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função dos tratamentos na profundidade de 0 a 10 cm.

Potencial (kPa)

Tratamentos	- 10	- 30	- 1.500
	Umidade g g ⁻¹		
Floresta Natural (FN)	0,23 A	0,20 A	0,12 A
Floresta Convertida (FC)	0,17 B	0,15 B	0,10 B
Savana Natural (SN)	0,09 C	0,07 C	0,03 C
Savana Convertida (SC)	0,09 C	0,07 C	0,03 C

OBS: Comparação apenas entre os tratamentos em cada potencial.

O planejamento agrícola das áreas passa por questões sustentáveis quanto ao uso responsável da água. A determinação da retenção de umidade fornece informações indispensáveis ao manejo dos sistemas de irrigação que porventura sejam implantados nestas áreas para a otimização da produção agrícola. Na área de savana não houve diferença estatística entre SN e SC, sendo 0,09 g g⁻¹ na CC e 0,03 g g⁻¹ no PM, portanto mais um atributo que confirma a hipótese de que a savana foi menos sensível à conversão. O menor teor de argila do solo sob savana pode ter influenciado na retenção da umidade devido à possível presença de macroporos nesta profundidade.

Os solos sob floresta apresentaram maior retenção de umidade no ponto de murcha permanente (- 1.500 kPa). Assim como a CAD, a RU também varia em função de atributos como a MOS, DS, textura, porosidade, e a estabilidade dos agregados. O maior teor de argila e matéria orgânica nos solos sob floresta, podem ter contribuído para o surgimento desses resultados, já que são atributos estreitamente relacionados com o armazenamento da água.

Na profundidade de 10 a 20 cm (**Tabelas 18 e 14 em ANEXO**) o padrão foi ligeiramente diferente, sendo o teor de umidade igual para as áreas de floresta (0,22 g g⁻¹ na CC e 0,13 g g⁻¹ no PM). Na savana também não houve diferença estatística (0,12 g g⁻¹ na CC e 0,05 g g⁻¹ no PM), sendo estes valores inferiores aos da floresta, o que também pode ser atribuído aos maiores teores de argila e matéria orgânica na floresta. A RU na savana aumentou consideravelmente nessa profundidade, sendo isto atribuído ao aumento no teor de argila.

Tabela 18: Valores médios de Umidade do Solo nos Potenciais (KPa), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função dos tratamentos na profundidade de 10 a 20 cm.

Tratamentos	Potencial (KPa)		
	- 10	- 30	- 1.500
Umidade g g ⁻¹			

Floresta Natural (FN)	0,23 A	0,21 A	0,14 A
Floresta Convertida (FC)	0,21 A	0,19 A	0,13 A
Savana Natural (SN)	0,12 B	0,09 B	0,05 B
Savana Convertida (SC)	0,12 B	0,08 B	0,05 B

OBS: Comparação apenas entre os tratamentos em cada potencial.

Na profundidade de 20 a 40 cm a RU foi superior nas áreas de floresta (0,25 g g⁻¹ na CC e 0,14 g g⁻¹ no PM), não sendo estatisticamente diferentes (**Tabelas 19 e 15 em ANEXO**). As áreas de savana foram estatisticamente inferiores e também não diferenciaram entre si (0,14 g g⁻¹ na CC e 0,06 g g⁻¹ no PM). Ao comparar os valores de RU nas profundidades anteriores pode-se verificar novamente a relação direta entre a textura e a RU, pois o teor de argila na profundidade de 20 a 40 cm foi superior tanto na floresta como na savana (**Figura 15 em ANEXO**).

Tabela 19: Valores médios de Umidade do Solo nos Potenciais (KPa), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função dos tratamentos na profundidade de 20 a 40 cm.

Tratamentos	Potencial (KPa)		
	- 10	- 30	- 1.500
	Umidade g g ⁻¹		
Floresta Natural (FN)	0,25 A	0,21 A	0,14 A
Floresta Convertida (FC)	0,25 A	0,22 A	0,15 A
Savana Natural (SN)	0,15 B	0,12 B	0,06 B
Savana Convertida (SC)	0,14 B	0,10 B	0,06 B

OBS: Comparação apenas entre os tratamentos em cada potencial.

5.8 Matéria Orgânica do Solo (MOS)

Os teores de Matéria Orgânica apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, profundidades e na interação entre esses dois fatores (**Tabela 16 em ANEXO**).

O teor de Matéria Orgânica do Solo (MOS) foi estatisticamente superior nas áreas de Floresta, especialmente na Floresta Natural (4,20 %), que diferiu estatisticamente da Floresta Convertida (2,53 %) apenas na profundidade de 0 a 10 cm em razão do elevado coeficiente de variação. Entre as áreas de savana não houve diferença estatística significativa em nenhuma profundidade, apesar de se observar uma tendência de valores superiores na Savana Convertida (**Tabela 20 e Figura 12 em ANEXO**).

Tabela 20: Valores médios de Matéria Orgânica do Solo (%), ordenados pelo teste de Tukey (5%) em função dos tratamentos e da profundidade.

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0 – 10	10 – 20	20 – 40
Floresta Natural (FN)	4,20 A a	2,66 A b	1,45 A c
Floresta Convertida (FC)	2,53 B a	1,86 A b	1,37 AB b
Savana Natural (SN)	0,94 C a	0,68 B a	0,34 B a
Savana Convertida (SC)	1,02 C a	0,71 B ab	0,66 AB b

OBS: letras maiúsculas para comparação entre os tratamentos em cada profundidade. Letra minúscula para comparação de profundidades dentro de cada tratamento.

A ação dos microorganismos decompondo os resíduos vegetais na superfície, resulta na produção de ligantes orgânicos e no aumento da população de fungos. Estes por sua vez promovem aumento na estabilidade de agregados por envolverem as partículas do solo com suas hifas e por produzirem, juntamente com os demais microorganismos, metabólitos que atuam com agentes cimentantes, principalmente na superfície do solo por estarem em contato direto com o resíduo vegetal (MARCOLAN, 2002).

A área de FN foi a única área que apresentou diferença estatística no teor de MOS nas três profundidades. Apesar disso, todas as áreas mostraram valores decrescentes de MOS com o aumento da profundidade. Essa resposta se deve ao acúmulo de biomassa vegetal na superfície do solo, ocorrendo em maior grau nas florestas. Esse padrão é frequentemente evidenciado no trópico úmido, em especial nos solos brasileiros conforme estudo já realizado por Neves Júnior (2005). O acúmulo de MOS no solo influencia em praticamente todos os atributos químicos e físico-hídricos, conferindo maior estado de agregação/estruturação, porosidade, retenção de umidade e menor densidade e resistência à penetração, interação

verificada nos resultados obtidos nesta pesquisa, reforçando que os melhores sistemas para a recuperação de áreas degradadas são aqueles que favorecem a manutenção/aumento dos teores de matéria orgânica no solo, como as pastagens bem manejadas.

O manejo e a conservação dos solos em ambiente amazônico apresentam diretrizes que envolvem direta ou indiretamente o acúmulo de MOS tanto em sistemas agropecuários como em áreas degradadas destinadas à recuperação. Isso porque as taxas de mineralização da MOS são altas, dada a elevada temperatura e atividade microbiana do solo (CERRI, 2003), garantindo a reciclagem de nutrientes responsável pelo equilíbrio ecológico da Amazônia. No ato de converter floresta em pastagem, o aporte de MOS diminui devido à remoção de uma grande diversidade de árvores, o que explica em parte a diferença nos atributos físico-hídricos entre FN e FC deste trabalho. Naturalmente, com o tempo, os estoques de MOS do solo são consumidos por microorganismos e provocam a perda de fertilidade e início da degradação do solo, inviabilizando a produção agropecuária.

Os teores de MOS em savana refletem a diferença da cobertura vegetal na sua incorporação ao solo. Ao contrário do que foi visto na área de floresta, a área de savana que apresentou maior teor de MOS foi a SC em todas as profundidades (**Tabela 37**), apesar de não haver diferença estatística. Essa resposta provavelmente ocorreu pela biomassa produzida pelas culturas plantadas em sistema de plantio direto, associado às pastagens que são reconhecidamente responsáveis por incorporar elevadas quantidades de MOS no solo.

Neste sentido, as áreas de savana foram menos sensíveis à conversão, melhorando sutilmente o teor de MOS no solo. Isso explica a baixa amplitude entre SN e SC e a alta amplitude entre FN e FC nos valores de Resistência à Penetração, Densidade do Solo, Umidade Gravimétrica, Porosidade Total, Capacidade de Água Disponível e Estabilidade de Agregados, todos estes mais ou menos dependentes dos teores de MOS no solo. Ao se comparar savana com floresta, tem-se a comprovação de muitos agricultores em afirmar que áreas que florestas produzem melhor que áreas de savana. Neste sentido, pode-se adotar o termo resiliência proposto por Alves (2008), para caracterizar a tolerância de um ecossistema contra um estresse, ou uma resposta que um dado corpo pode dar após essa força ter sido aplicada.

Trabalhos realizados na Amazônia tem demonstrado uma tendência de aumento na proporção de carbono (C) derivado das pastagens com o tempo de uso, em decorrência do enriquecimento em C proveniente de gramínea forrageira de ciclo fotossintético C4. Assim, os estoques de C remanescentes da floresta decrescem e ocorre um acréscimo nos estoques de C oriundo da pastagem conforme trabalhos realizados em Rondônia NEILL et al., 1996; em

Manaus DESJARDINS et al., 2004; no Pará DESJARDINS et al., 1994; e no Acre SALIMON et al., 2007; SALIMON, 2003).

Os teores de MOS observados nas áreas de pastagem deste estudo podem ter evitado mudanças mais drásticas nos atributos físico-hídricos do solo, fato corroborado por FLORES et al. (2007) que não observaram diferenças estatísticas na porosidade nem na densidade do solo com o pastejo intenso por bovinos. Estes autores atribuíram isso aos resíduos vegetais depositados sobre o solo ($5,4 \text{ Mg ha}^{-1}$) por culturas anteriores em sistema de plantio direto, que diminuem o efeito do pisoteio animal na compactação superficial do solo. Isso pode explicar a maior amplitude encontrada na densidade do solo e porosidade da FN e FC, pois na Floresta Convertida não havia um sistema de plantio bem manejado como ocorreu na Savana Convertida.

6 CONCLUSÕES

1. A conversão dos ambientes naturais em pastagem provocou alterações significativas em alguns atributos até a profundidade de 10 cm do Argissolo Amarelo. As maiores alterações ocorreram em ambiente de floresta, sendo a resistência à penetração, a densidade, a porosidade, a matéria orgânica do solo e a CAD os atributos influenciados negativamente com a conversão à pastagem. Não foi constatada perda da qualidade física deste solo no presente estudo;
2. Constataram-se diferenças marcantes nas propriedades físico-hídricas do Argissolo Amarelo em savana natural e em floresta natural devido à atuação dos fatores de formação do solo. Todos os atributos avaliados diferiram nestas duas áreas, à exceção da densidade de partículas que reflete a mineralogia caulinítica desses solos;

3. Todos os atributos avaliados se correlacionaram com a exploração pecuária, à exceção da umidade do solo. A densidade do solo e a resistência à penetração são atributos recomendados para o monitoramento ágil e constante da compactação do solo por serem de mensuração fácil;
4. Os índices que determinam a estabilidade dos agregados não foram influenciados pela conversão dos ambientes naturais em pastagem. A classificação dos agregados, o diâmetro médio geométrico, o grau de floculação e a argila dispersa não diferiram entre ambiente natural e pastagem, indicando que uma pastagem bem manejada pode manter a qualidade estrutural do solo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de Calcário e Fósforo e Estabilidade da Estrutura de um Solo Ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 799-806, 2003.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do Solo e Infiltração de Água como Indicadores da Qualidade Física de um Latossolo Vermelho Distrófico em Recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 617-625, 2007.
- AMARAL, E. F.; BROW, I. F.; MELO, A. W. F. de. Efeito de diferentes uso da terra nas características do solo no Estado do Acre. Rio Branco: Embrapa Acre , 2001. 20p.
- 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 de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 425-435, 2005.

- ARSHAD, M. A.; MARTINS, S. Identifying Critical Limits for Soil Quality Indicators in Agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v 88, n 2, p 153 – 160, 2002.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. do. **Experimentação Agrícola**. 4^a ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 237 p.
- BARBOSA, R. I. Distribuição das chuvas em Roraima. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. **Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima**. Manaus: INPA, 1997. p.325-335.
- BARROS, L. S.; VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. R.; MOURÃO, M. Perdas de Solo e Água em Plantio de *Acacia mangium* Wild em Savana de Roraima, Norte da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 33, p. 235 – 475, 2009.
- BELTRAME, L.F.S.; GONDIN, L.A.P.; TAYLOR, J.C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 5, p. 145-149, 1981.
- BENEDETTI, U. G.; VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO V. F.; UCHÔA, S. C. P. Gênese, Química e Mineralogia de Solos Derivados de Sedimentos Pliopleistocênicos e de Rochas Vulcânicas Básicas em Roraima, Norte Amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 299-312, 2011.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JÚNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, 2004.
- BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A.; ALMEIDA, E.X. e KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de ofertas de forragem de capim elefante anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Viçosa, v. 35, p. 1047-1054, 2000.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JÚNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.1, 2004.
- BEUTLER, J. F.; BERTOL, I.; VEIGA,IM.; WILDNER, L.P. Perdas de solo e água num Latossolos Vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, p. 27, p. 509-517, 2003.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Compactação do Solo e Intervalo Hídrico Ótimo na Produtividade de Arroz de Sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 575-580, 2004.
- BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. Folha NA. 20 Boa Vista e parte das Folhas NA. 21. Tumucumaque, NA. 20 Roraima e NA. 21. **Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia**, 1975. v.8.

- CAMARÃO, A. P.; SOUZA FILHO, A. P. S. Pastagens Nativas da Amazônia. **Belém: Embrapa Amazônia Oriental**, 2001. 150p.
- CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade Estrutural de um Latossolo Vermelho Escuro Distrófico Após Sete Anos de Rotação de Culturas e Sistemas de Manejo do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 121-126, 1995.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S. e AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p. 147-157, 2009.
- CASTELLÓN, E. G. Homem, ambiente e ecologia no estado de Roraima. Manaus: INPA, 1997. p.401-415.
- CAVALIERI, K. M. V.; TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; COSTA, A. C. S. da. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 30. n.1, p. 137-147, jan/fev. 2006.
- CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C. CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S. Alterações nas Propriedades Físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob Diferentes Culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 997-1003, 1999.
- CERRI, C. E. P. Variabilidade Espacial e Temporal do Carbono do solo na Conversão de Floresta em Pastagem na Amazônia Ocidental (Rondônia). 159 p. (**Tese de Doutorado**). Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo, 2003.
- COSTA, F, S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 27, n.3. maio/jun. 2003.
- CURI, N. Vocabulário de ciência do solo. Campinas, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1993. 89p.
- CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, n.6 nov./dez. 2003.
- DESJARDINS, T.; ANDREUX, F.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Organic Carbon and ¹³C Contents in Soils and Soil Size-Fractions, and their Changes due to Deforestation and Pasture Installation in Eastern Amazonia. **Geoderma**, n. 61, n. 1, p. 103-118, 1994.
- DESJARDINS, T.; BARROS, E.; SARRAZIN, M.; GIRARDIN, C.; MARIOTTI A. Effects of Forest Conversion to Pasture on Soil Carbon Content and Dynamics in Brazilian Amazonia. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 103, n. 4, p. 365-373, 2004.

- DIAS, H. C. T. Geoambientes do Parque Estadual do Ibitipoca, Município de Lima Duarte-MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.6, p.777-786, 2002.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative Indicators of Soil Quality: A Minimum Data Set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds). *Methods for Assessing Soil Quality*. Wisconsin, USA: **Soil Science Society American**, 1996. p. 25 – 37.
- EMBRAPA. Manual De Métodos De Análise De Solo. 2.ed. Rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p. il. (**EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1**).
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. **Rio de Janeiro: Embrapa Solos**, 2009, 412 p..
- FERREIRA, E.J.G.; CATELLON, E.G. Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima. **INPA**, Manaus, 1997. p 325 – 335.
- FEITOSA, K. K. Caracterização e Classificação de Solos em “Ilhas Florestais” e Savanas Associadas no Nordeste de Roraima, Universidade Federal de Roraima, 2009. 67 p. (**Dissertação de Mestrado**).
- FILHO, J. A.; ASSIS JÚNIOR, R.N.; MOTA, J.C.A. Física do Solo: Conceitos e Aplicações. Fortaleza. **Imprensa Universitária**, 2008. 290 p.
- FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F.; LEITE, J. G. D. B.; FRAGA, T. I. Atributos Físicos do Solo e Rendimento de Soja em Sistema Plantio Direto em Integração Lavoura-pecuária com Diferentes Pressões de Pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 771-780, 2007.
- FREITAG, D.R. Methods of measuring soil compaction. In: BARNES, K.K.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R. e van den BERG, G.E., orgs. *Compaction of agricultural soils*. **Madison: American Society of Agricultural Engineers**, 1971. p.47-105.
- GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; DUTRA, A. C. Degradação Física de um Latossolo Vermelho Utilizado para Produção Intensiva de Forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 863 – 873, 2007.
- GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.; SOUZA, L.S. e RIBEIRO, L.P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento Hardsetting: Estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 239-247, 2001.
- GOEDERT, W. J. e LOBATO, E. Eficiência Agronômica de fosfato em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 8, p. 97-102, 1985.
- GONZÁLES, A.P.; ALVES, M.C. Armazenamento de água e densidade do solo sob três condições de superfície, em um Cambissol gleico de Lugo, Espanha. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 45 - 50, 2005.

- JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: Workshop coesão em solos dos tabuleiros costeiros. Aracaju, 2001. Anais. **Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros**, 2001. p.19-46.
- JUHÁSZ, C. E. P.; CURSI, P. R.; COOPER, M.; OLIVEIRA, T. C.; RODRIGUES, R. R. Dinâmica Físico – Hídrica de uma Toposequência de Solos Sob Savana Florestada (Cerradão) em Assis SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p.401-412, 2006.
- KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society American Journal**, V.61, n 1, p. 4 – 10, 1997.
- KLEIN, V.A. Densidade relativa - Um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 5, p. 26-32, 2006.
- LAZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos Físicos do Solo em um Sistema de Integração Lavoura – Pecuária sob Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1131-1140, 2007.
- LANZANOVA, M. E.; ELTZ, F. L. F.; NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J.; ROCHA, M. R. Atributos físicos de um argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1333-1342, 2010.
- LEÃO T. P. Intervalo Hídrico Ótimo em Diferentes Sistemas de Pastejo e Manejo da Pastagem. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2002. 58 p. (**Dissertação de Mestrado**).
- LIBARDI, P. L. Dinâmica da Água no solo. São Paulo: **EDUSP**, 2005. 329 p.
- LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; LEÃO, T. P. Estimativa da Capacidade de Suporte de Carga do Solo a Partir da Avaliação da Resistência à Penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 217-223, 2006.
- LIMA, H. V de; SILVA, A. P. de; ROMERO, R. E.; JACOMINE, P. K. T. Comportamento físico de um Argissolo acinzentado coeso no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 29 n.1. pág. 33- 40jan/fev. 2005.
- LOWERY, B.; HICKEY, W.; ARSHAD, M. A.; LAL, R. Water Soils Parameters and Soil Quality In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds). *Methods for Assessing Soil Quality*. **Madison: Soil Society of America**, cap 8, p 143 – 155, 1996.
- MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; MARQUES, J. J. G. S. M. Perdas de Solo e Água por Erosão Hídrica em Sistemas Florestais na Região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, viçosa, v. 27, p. 395-403, 2003.
- MARCOLAN, A. L. Atributos Físicos e Químicos de uma Argissolo e Rendimento de Culturas em Função do seu Revolvimento na Reaplicação de Calcário no Sistema de

- Plantio Direto. Porto Alegre – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002. 87 p. (**Dissertação de Mestrado**).
- MASSING, J. P.; KLEIN, V. A.; CÂMARA, R. K.; BIASUZ JUNIOR, I. J.; SIMON, M. A. Densidade máxima e relativa de solos sob plantio direto. In: **Reunião Brasileira De Manejo e Conservação do Solo e da Água**: manejo integrado a ciência do solo na produção de alimentos, 15. Santa Maria – RS, 2004.
- MELO, V. F.; GIANLUPPI, D.; UCHÔA, S. C. P. Características Edafológicas dos Solos do Estado de Roraima. Boa Vista: **DSI/UFRR**, 2004. 46p.
- MELO, V. F. Solos e indicadores de uso agrícola em Roraima: Áreas indígena Maloca do Flechal e de colonização do Apiaú. Viçosa, MG: UFV, 2002. 145f. **Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)** – Universidade Federal de Viçosa.
- MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da Qualidade de Solos sob Diferentes Coberturas Florestais e de Pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2461-2470, 2008.
- MORELLI, M.; FERREIRA, E.B. Efeito do carbonato de cálcio e do fosfato diamônico em propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 11, p. 1-6, 1987.
- NEILL, C.; FRY, B.; MELILLO, J.M.; STEUDLER, P.A.S.; MORAES, J.F.L.; CERRI, C.C. Forest and Pasture-derived Carbon Contributions to Carbon Stocks and Microbial Respiration of Tropical Pasture Soils. **Oecologia**, v. 107, n. 1, p. 113-119, 1996.
- NEVES, J. A. F. Avaliação da Qualidade Física de Solo em Pastagens Degradadas da Amazônia. Piracicaba – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, 2005. 66p. (**Dissertação de Mestrado**).
- NEVES, J. A. F. Qualidade Física de solos com Horizonte Antrópicos (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central. Piracicaba – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, 2008. 93p. (**Tese de Doutorado**).
- PAIVA, A.Q. Dinâmica da Água em uma Topossequencia de Solos de Tabuleiros do Estado da Bahia e sua Implicação no Crescimento da Laranjeira. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 74p.
- REICHERT, J.M.; VEIGA, M. da; CABEDA, M.S.V. Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmetros de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, p. 283-290, 1993.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, v. 27, p. 29-48, 2003.
- REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S. e LU, X. Indicators of Good Soil Physical Qualify: Density and Storage Parameters. **Geoderma**, 110:131-146, 2002.

- RIBEIRO JÚNIOR, J.I. Análises Estatísticas no SAEG – Guia Prático. Viçosa: UFV, 2004. 301 p.
- ROJAS, C. A. L.; VAN LIER, Q. J. Alterações Físicas e Hídricas de um Podzólico em Função de Sistemas de Preparo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**. V. 5, p.105 – 115, 1999.
- SALIMON, C.I. Respiração do Solo Sob Florestas e Pastagens na Amazônia Sul-Occidental, Acre. **Tese de Doutorado**. Piracicaba, 2003. 97p.
- SALIMON, C.I.; WADT, P.G.S.; MELO, A.W.F.; Dinâmica do Carbono na Conversão de Florestas para pastagens em Argissolos da Formação Geológica Solimões, no Sudeste da Amazônia. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 1, p. 29-38, 2007.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRICIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v. 32, p. 11-21, 2008.
- SANTANA, M. B.; SILVA SOUZA, L. da; DUARTE SOUZA, L.; FONTES, L. E. F.. Atributos Físicos do Solo e Distribuição do Sistema Radicular de Citros como Indicadores de Horizontes Coesos em Dois Solos de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 1-12, 2006.
- SECCO, D.; ROS, C. O. da.; 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, n.3. p. 407-414. maio/jun. 2005.
- SECCO, D. REINERT, D.; REICHERT, J.M. e DA ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistema de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 797-904, 2004.
- SETA, A.K.; KARATHANASIS, A.D. Water dispersible colloids and factors influencing their dispersibility from soil aggregates. **Geoderma**, 74:255-266, 1997.
- SILVA, R. F. da; BORGES, C. D.; Garib, D. M.; MERCANTE, F. M. Atributos Físicos e Teor de Matéria Orgânica na Profundidade Superficial de um Argissolo Vermelho Cultivado com Mandioca sob Diferentes Manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p. 2435-2441, 2008.
- SILVA, A. P.; LIMBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da Compactação nos Atributos Físicos de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 91 – 95, 1986.
- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de Cultivo e Características do Solo Afetando a Estabilidade de Agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 311-317, 1998.

- SILVA, R. R. da.; 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. **Revista Ciência Agrotecnica**, Lavras, v. 29, n.4. p.719-730. jul./ago., 2005.
- SILVA, A. J. N. 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, p. 833-842, 2005.
- SILVA, E. L. S. A vegetação de Roraima. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; SILVA, M. A. S. da; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades Físicas do Solo Relacionados ao Armazenamento de Água em um Argissolo Vermelho sob Diferentes sistemas de Preparo. **Ciência Rural**, v. 35, p. 544 – 552, 2005.
- SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S. do; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um argissolo amarelo distrocóeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 659-667, 2010.
- SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. Vol.40, n. 1. nov. 2005.
- SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A. e BUZETTI, S. Alterações nas frações do C em um Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso do solo. **Scientia Agricola**, 28:323-329, 2006.
- SOUZA, M. I. L. Qualidade Físico-Hídrica de um Argissolo Vermelho Amarelo sob Agroecossistema e Floresta Natural em Roraima. Boa Vista – Universidade Federal de Roraima, 2010, 91 p (**Dissertação de Mestrado**).
- SOUZA, Z. M. de; JÚNIOR J. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, vol.39, n.5, p.491-499, maio 2004.
- TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S. da. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo de solo. **Scientia Agricola**. v. 59, n.4. p. 795-801. out/dez. 2002.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and waterstable aggregates in soils. **Journal of Soil Science, Oxford**, v.33, n.1, p.141-163, Mar. 1982.
- TREIN, C.R.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, p. 105-111, 1991.
- VALE JUNIOR, J. F. Estudo de solos das áreas de Acacia mangium do empreendimento Ouro Verde LTDA. In : **Estudos de Impacto Ambiental/ Relatório de Impacto Ambiental**. STCP consultoria LTDA. Boa Vista-RR, 2002. 350p.

- VALE JÚNIOR, J. F. Pedogênese e Alterações dos Solos sob Manejo Itinerante, em Áreas de Rochas Vulcânicas Ácidas e Básicas, no Nordeste de Roraima. **Tese de Doutorado**. Viçosa, outubro 2000.
- VALE JÚNIOR, J. F. do; SCHAEFER, C.E.G.R. Solos Sob Savanas de Roraima: gênese, classificação e relação e relações ambientais. **Boa Vista: Gráfica Ioris**, 2010. 219p.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A Closed – Form Equations for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. **Soil Science Society of América Journal**, v. 44, p. 892 – 898, 1980.
- VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L.; LIMA, A. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE. Diretoria de Ciências. **Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais – DERNA**. 1991.
- VIEHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. Soil Moisture Conditions in Relation to Plant Growth. **Plant Physiology**, Rockville, v. 2. P. 71 – 78, 1927.
- SKOPP, J. M. Physical Properties of Primary Particles. In: WARRIK, A. W. ed. **Soil Physics Companion**. United States of America, 2002, 403 p.
- WESTERHOF, R.; BUURMAN, P.; van GRIETHUYSEN, C.; AYARZA, M.; VILELA, L.; ZECH, W. Aggregation studied by laser diffraction in relation to plowing and liming in the Cerrado region in Brazil. **Geoderma**, 90:277-290, 1999.

ANEXOS

Tabela 01: Resultado da análise de variância para as médias de DS segundo o Teste de Fischer (5%).

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F	SIG
Total	59	2,51			
Repetição	4	0,43	0,010	2,27	ns
Profundidade	2	0,16	0,081	44,45	**
Áreas	3	1,98	0,66	150,0	**
Resíduo a	12	0,53	0,0044		
P x A	6	0,21	0,035	19,44	**

Resíduo b	32	0,58	0,0018
Média Geral	1,47		
C.V (%)	2,90		

F.V: Fontes de Variação; G.L: Graus de Liberdade; S.Q: Soma de Quadrados; Q.M: Quadrado Médio; F: Teste de Fischer; SIG: * significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns: não significativo.

Figura 01: Densidade do Solo (DS em g cm^{-3}) de cada Área a diferentes profundidades.

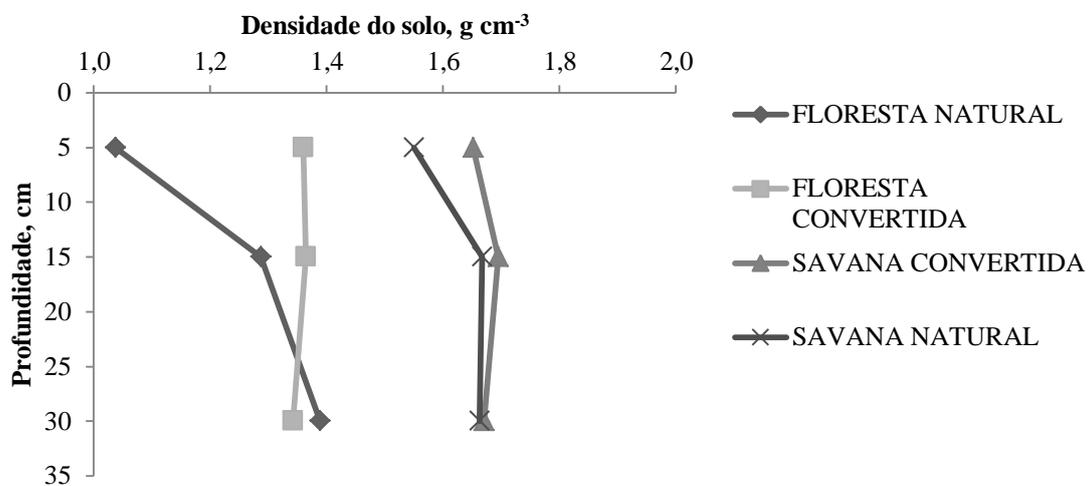


Tabela 02: Resultado da análise de variância para as médias de DP segundo o Teste de Fischer (5%). POR NOSS ANEXOS.

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F	SIG
Total	59	0,72			
Repetição	4	0,026	0,0066	0,56	ns
Profundidade	2	0,040	0,020	1,81	ns
Área	3	0,0096	0,0032	0,27	ns
Resíduo a	12	0,15	0,012		
P x A.	6	0,12	0,020	1,81	0,14
Resíduo b	32	0,37	0,011		
Média Geral	2,66				

C.V (%) 4,06

F.V: Fontes de Variação; G.L: Graus de Liberdade; S.Q: Soma de Quadrados; Q.M: Quadrado Médio; F: Teste de Fischer; SIG: * significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns: não significativo.

Tabela 03: Resultado da análise de variância para as médias de Resistência à Penetração (RP) segundo o Teste de Fischer (5%).

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F	SIG
Total	59	8812,1			
Repetição	4	83,9	20,9	0,50	ns
Profundidade	2	3914,5	1957,2	259,23	**
Tratamento	3	3387,5	1129,1	27,14	**
Resíduo a	12	499,8	41,6		
Prof. x Trat.	6	684,5	114,0	15,10	**
Resíduo b	32	241,7	7,55		
Média Geral	2,72				
C.V (%)	9,88				

F.V: Fontes de Variação; G.L: Graus de Liberdade; S.Q: Soma de Quadrados; Q.M: Quadrado Médio; F: Teste de Fischer; SIG: * significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns: não significativo.

Figura 02: Resistência à Penetração (RP em MPa) de cada Área a diferentes profundidades.

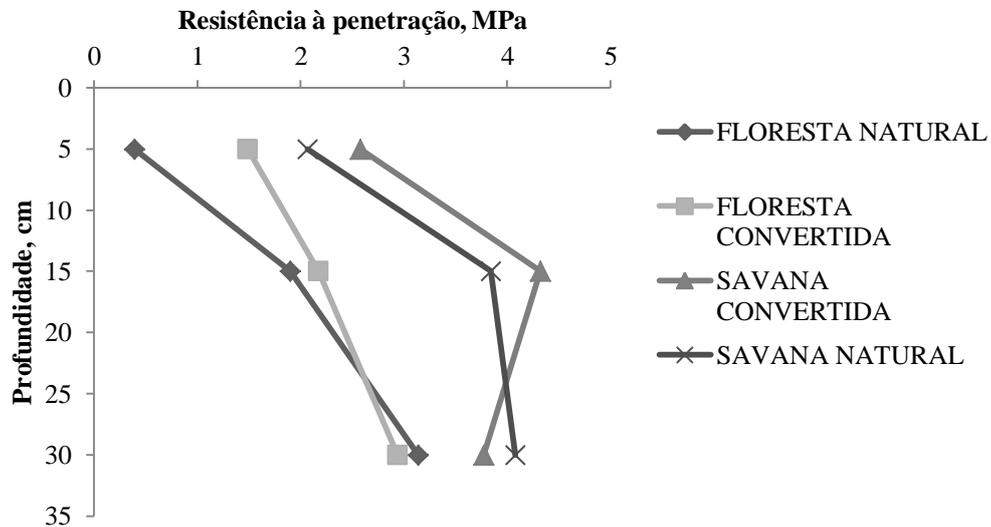


Tabela 04: Resultado da análise de variância para as médias de Umidade Gravimétrica (UMG) segundo o Teste de Fischer (5%).

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F	SIG
Total	59	0,34			
Repetição	4	0,013	0,0033	1,37	ns
Profundidade	2	0,0022	0,0011	3,66	ns
Áreas	3	0,27	0,090	37,5	**
Resíduo a	12	0,029	0,0024		
P x A	6	0,013	0,0022	7,33	**
Resíduo b	32	0,011	0,0003		
Média Geral	0,18				
C.V (%)	10,4				

F.V: Fontes de Variação; G.L: Graus de Liberdade; S.Q: Soma de Quadrados; Q.M: Quadrado Médio; F: Teste de Fischer; SIG: * significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns: não significativo.

Tabela 05: Resultado da análise de variância para as médias de Conteúdo de Água em Volume (θ) segundo o Teste de Fischer (5%).

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F	SIG
Total	59	0,29			
Repetição	4	0,013	0,0033	1,37	ns
Profundidade	2	0,0012	0,00064	1,65	ns
Áreas	3	0,23	0,077	32,08	**
Resíduo a	12	0,029	0,0024		
P x A	6	0,0029	0,00048	1,24	ns
Resíduo b	32	0,012	0,00038		
Média Geral	0,22				
C.V (%)	7,81				

F.V: Fontes de Variação; G.L: Graus de Liberdade; S.Q: Soma de Quadrados; Q.M: Quadrado Médio; F: Teste de Fischer; SIG: * significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns: não significativo.

Figura 10: Umidade Gravimétrica (UMG em $g\ g^{-1}$) de cada Área a diferentes profundidades.

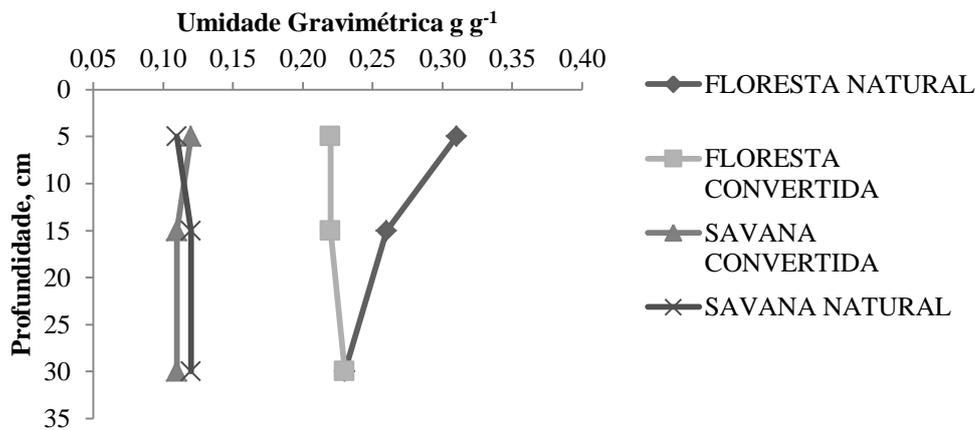


Figura 04: Conteúdo de Água em Volume (em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) de cada Área a diferentes profundidades.

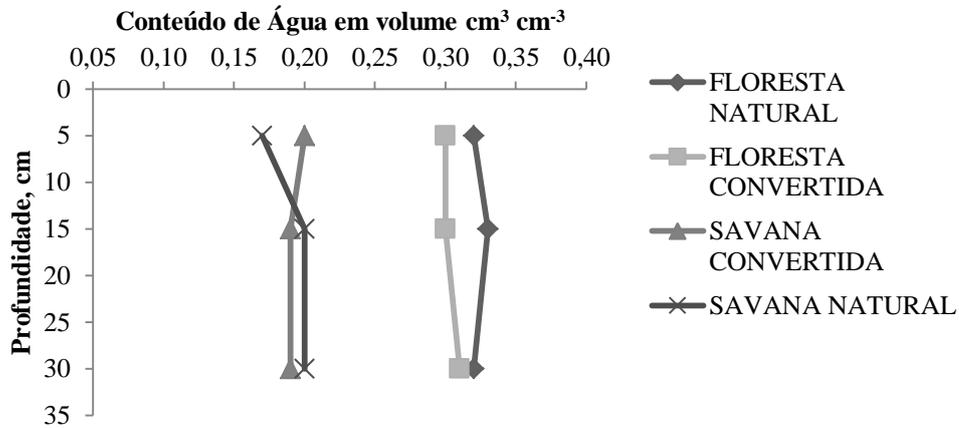
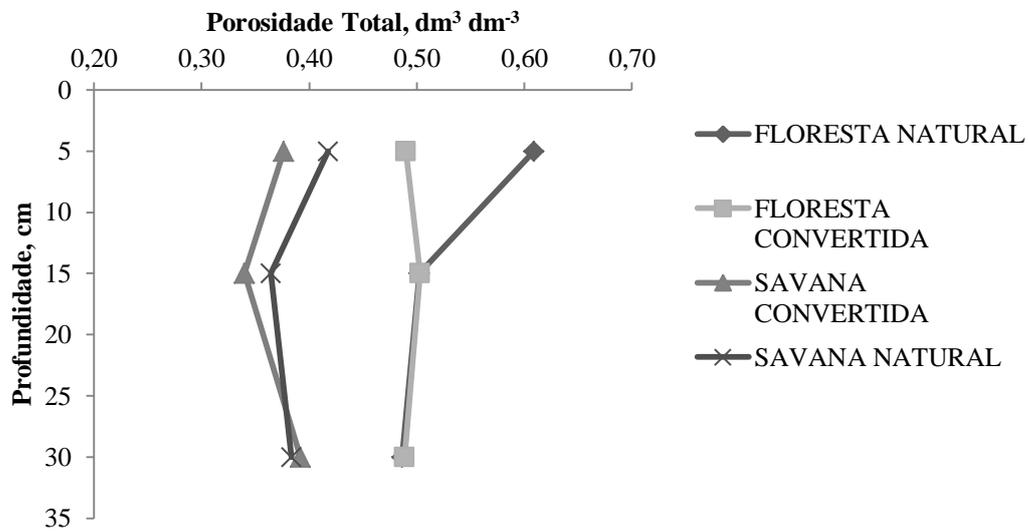


Tabela 06: Resultado da análise de variância pelo programa SAEG para as médias de PT segundo o Teste de Fischer (5%).

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F	SIG
Total	59	0,39			
Repetição	4	0,0061	0,0015	1,00	ns
Profundidade	2	0,022	0,011	11,76	**
Tratamento	3	0,28	0,094	62,66	**
Resíduo a	12	0,018	0,0015	1,54	
Prof. x Trat.	6	0,036	0,0060	6,18	**
Resíduo b	32	0,031	0,00097		
Média Geral	0,44				
C.V (%)	6,99				

F.V: Fontes de Variação; G.L: Graus de Liberdade; S.Q: Soma de Quadrados; Q.M: Quadrado Médio; F: Teste de Fischer; SIG: * significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns: não significativo.

Figura 05: Porosidade total (em $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$) de cada Área a diferentes profundidades.**Tabela 07:** Valores de quadrados médios e significância do teste F para as porcentagens de agregados.

Fontes de Variação	0 a 10 cm		10 a 20 cm		20 a 40 cm	
	Q.M.	Fisher	Q.M.	Fisher	Q.M.	Fisher
--- 4 a 2 mm ---						
Tratamento	414,3	7,8 ^{**}	411,7	3,36 ^{ns}	676,5	6,44 ^{**}
Bloco	43,9	0,8 ^{ns}	46,3	0,37 ^{ns}	30,3	0,28 ^{ns}
Resíduo	52,5		122,4		105,0	
CV (%)	14,0		22,6		22,5	
--- 2 a 1 mm ---						
Tratamento	2,8	0,08 ^{ns}	13,9	0,52 ^{ns}	26,1	1,17 ^{ns}
Bloco	43,8	1,26 ^{ns}	19,1	0,72 ^{ns}	29,7	1,33 ^{ns}
Resíduo	34,6		26,4		22,2	
CV (%)	27,8		22,5		21,5	
--- 1 a 0,5 mm ---						
Tratamento	33,4	6,65 ^{**}	37,4	3,91 [*]	31,4	3,54 [*]
Bloco	3,3	0,67 ^{ns}	9,2	0,96 ^{ns}	5,6	0,64 ^{ns}
Resíduo	5,0		9,5		8,8	
CV (%)	35,6		37,8		31,1	
--- 0,5 a 0,25 mm ---						
Tratamento	76,1	14,35 ^{**}	102,6	8,11 ^{**}	104,7	6,90 ^{**}
Bloco	3,8	0,77 ^{ns}	13,7	1,08 ^{ns}	9,8	0,65 ^{ns}
Resíduo	5,3		12,6		15,1	
CV (%)	33,4		47,2		44,2	
--- 0,25 a 0,106 mm ---						

Tratamento	40,1	18,31**	42,1	11,86**	53,2	12,33**
Bloco	1,6	0,77 ^{ns}	5,1	1,45 ^{ns}	2,2	0,51 ^{ns}
Resíduo	2,1		3,5		4,3	
CV (%)	35,6		45,8		41,1	
<i>< 0,106 mm</i>						
Tratamento	2,6	0,11 ^{ns}	6,0	0,54 ^{ns}	28,3	2,57 ^{ns}
Bloco	8,1	0,36 ^{ns}	17,4	1,56 ^{ns}	3,4	0,31 ^{ns}
Resíduo	22,1		11,1		11,0	
CV (%)	46,3		39,3		35,6	

Onde: CV: Coeficiente de Variação; Q.M.: Quadrado Médio; n.s.: não significativo ($P>0,05$); * significativo ($P<0,05$); ** altamente significativo ($P<0,01$).

Tabela 08: Resultado da análise de variância para as médias de DMG segundo o Teste de Fischer (5%).

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F	SIG
Total	59	5,41			
Repetição	4	0,05	0,013	0,13	ns
Profundidade	2	0,10	0,052	1,48	ns
Áreas	3	2,66	0,88	8,8	**
Resíduo a	12	1,24	0,10		
P x A	6	0,21	0,036	1,04	ns
Resíduo b	32	1,12	0,035		
Média Geral	1,23				
C.V (%)	15,19				

F.V: Fontes de Variação; G.L: Graus de Liberdade; S.Q: Soma de Quadrados; Q.M: Quadrado Médio; F: Teste de Fischer; SIG: * significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns: não significativo.

Tabela 09: Resultado da análise de variância para as médias de DMP segundo o Teste de Fischer (5%).

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F	SIG
Total	59	5,54			
Repetição	4	0,075	0,018	0,18	ns
Profundidade	2	0,19	0,099	3,66	ns
Áreas	3	2,99	0,99	9,9	**
Resíduo a	12	1,29	0,10		
P x A	6	0,11	0,019	0,70	ns
Resíduo b	32	0,86	0,027		
Média Geral	1,88				
C.V (%)	8,72				

F.V: Fontes de Variação; G.L: Graus de Liberdade; S.Q: Soma de Quadrados; Q.M: Quadrado Médio; F: Teste de Fischer; SIG: * significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns: não significativo.

Figura 06: Diâmetro Médio Geométrico (DMG em mm) de cada Área a diferentes profundidades.

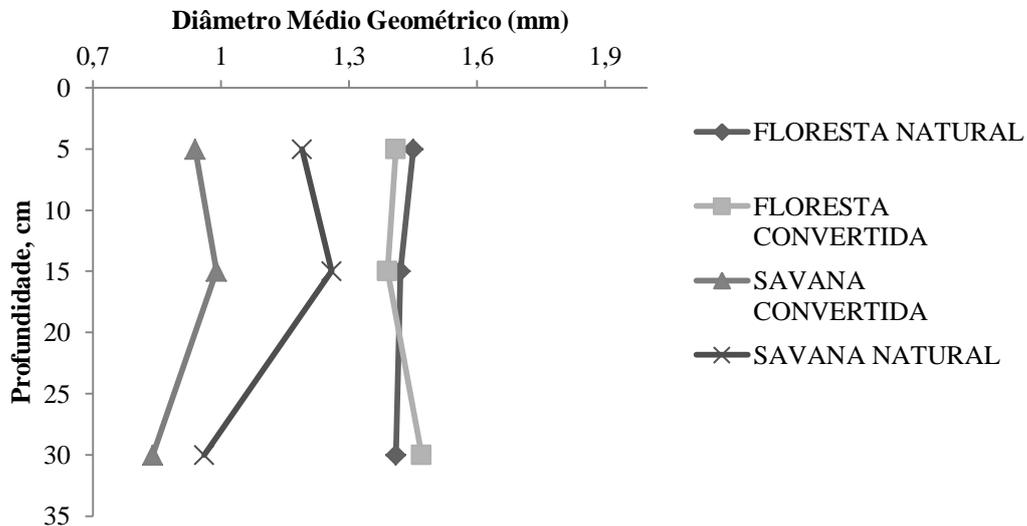


Tabela 10: Resultado da análise de variância para as médias de Grau de Floclulação segundo o Teste de Fischer (5%).

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F	SIG
Total	59	6043,57			
Repetição	4	477,32	119,33	1,55	ns
Profundidade	2	942,08	471,04	18,44	**
Áreas	3	2411,17	803,72	10,46	**
Resíduo a	12	921,67	76,80		
P x A	6	473,68	78,94	3,08	*
Resíduo b	32	817,62	25,55		
Média Geral	76,03				
C.V (%)	6,64				

F.V: Fontes de Variação; G.L: Graus de Liberdade; S.Q: Soma de Quadrados; Q.M: Quadrado Médio; F: Teste de Fischer; SIG: * significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns: não significativo.

Tabela 11: Resultado da análise de variância para as médias de Argila Dispersa(ARGD) segundo o Teste de Fischer (5%).

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F	SIG
Total	59	1327,33			
Bloco	4	37,66	9,41	1,01	ns
Profundidade	2	282,53	141,26	105,41	**
Áreas	3	759,33	253,11	27,36	**
Resíduo a	12	111,0	9,25		
P x A	6	93,86	15,64	11,67	**
Resíduo b	32	42,93	1,34		
Média Geral	6,66				
C.V (%)	17,37				

F.V: Fontes de Variação; G.L: Graus de Liberdade; S.Q: Soma de Quadrados; Q.M: Quadrado Médio; F: Teste de Fischer; SIG: * significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns: não significativo.

Figura 07: Grau de Flocculação (GF em %) de cada Área a diferentes profundidades.

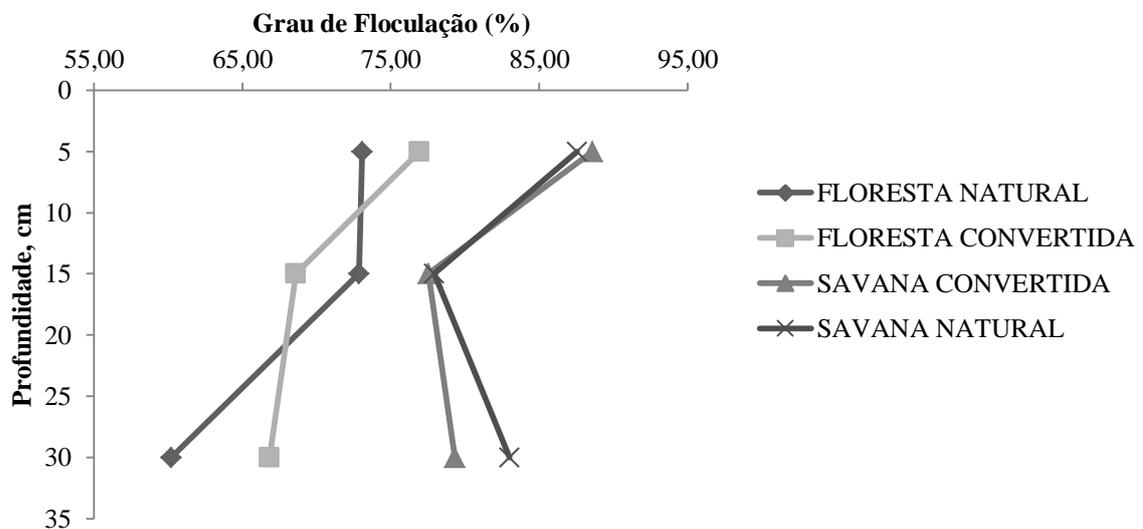


Tabela 12: Resultado da análise de variância para as médias de Capacidade de Água Disponível (CAD) segundo o Teste de Fischer (5%).

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F	SIG
Total	59	263,31			
Repetição	4	6,72	1,68	0,54	ns
Profundidade	2	48,48	24,24	13,02	**
Áreas	3	92,72	30,90	10,06	**
Resíduo a	12	36,89	3,07		
P x A	6	18,90	3,15	1,69	ns
Resíduo b	32	59,59	1,86		
Média Geral	8,36				
C.V (%)	16,3				

F.V: Fontes de Variação; G.L: Graus de Liberdade; S.Q: Soma de Quadrados; Q.M: Quadrado Médio; F: Teste de Fischer; SIG: * significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns: não significativo.

Figura 08: Capacidade de Armazenamento de Água (CAD em $\text{cm}^{-3} \text{cm}^{-3}$) de cada Área a diferentes profundidades.

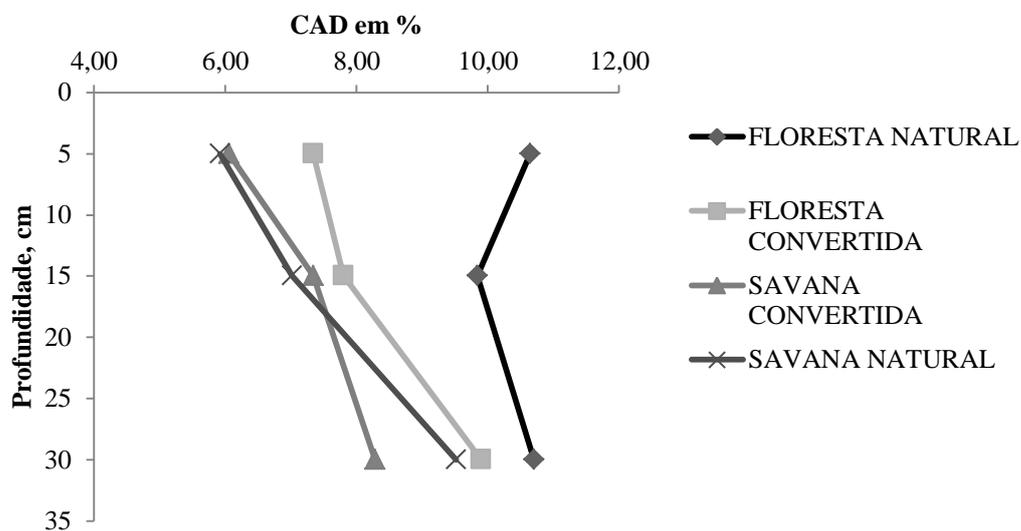


Tabela 13: Resumo da análise se variância para as médias de umidade do solo nos potenciais segundo o teste de Fischer para a profundidade de 0 a 10 cm.

Prof. de 0 a 10 cm	<i>Potencial -10 KPa</i>			<i>Potencial – 30 KPa</i>			<i>Potencial – 1.500 KPa</i>		
	FV	QM	F	SIG	QM	F	SIG	QM	F
Áreas	0,021	30,73	**	0,021	36,63	**	0,010	93,33	**
Repetição	0,00037	0,52	ns	0,00027	0,47	ns	0,000035	0,32	ns
Resíduo	0,00091			0,00058			0,00011		
CV (%)	17,63								

Onde: FV: Fontes de Variação; QM: Quadrado Médio; F: valor do teste de Fischer e SIG: * significativo a 5%; ** altamente significativo a 1%.

Tabela 14: Resumo da análise se variância para as médias de Umidade do Solo nos Potenciais segundo o teste de Fischer na profundidade de 10 a 20 cm.

Prof. de 10 a 20 cm	<i>Potencial -10 KPa</i>			<i>Potencial – 30 KPa</i>			<i>Potencial – 1.500 KPa</i>		
	FV	QM	F	SIG	QM	F	SIG	QM	F
Tratamento	0,017	37,65	**	0,020	78,43	**	0,011	122,17	**
Repetição	0,00020	0,43	ns	0,00019	0,76	ns	0,000037	0,38	ns
Resíduo	0,00046			0,00025			0,000098		
CV (%)	12,11			10,95			10,15		

Onde: FV: Fontes de Variação; QM: Quadrado Médio; F: valor do teste de Fischer e SIG: * significativo a 5%; ** altamente significativo a 1%.

Figura 09: Retenção de Umidade de cada Área em três potenciais mátricos na profundidade de 0 a 10 cm.

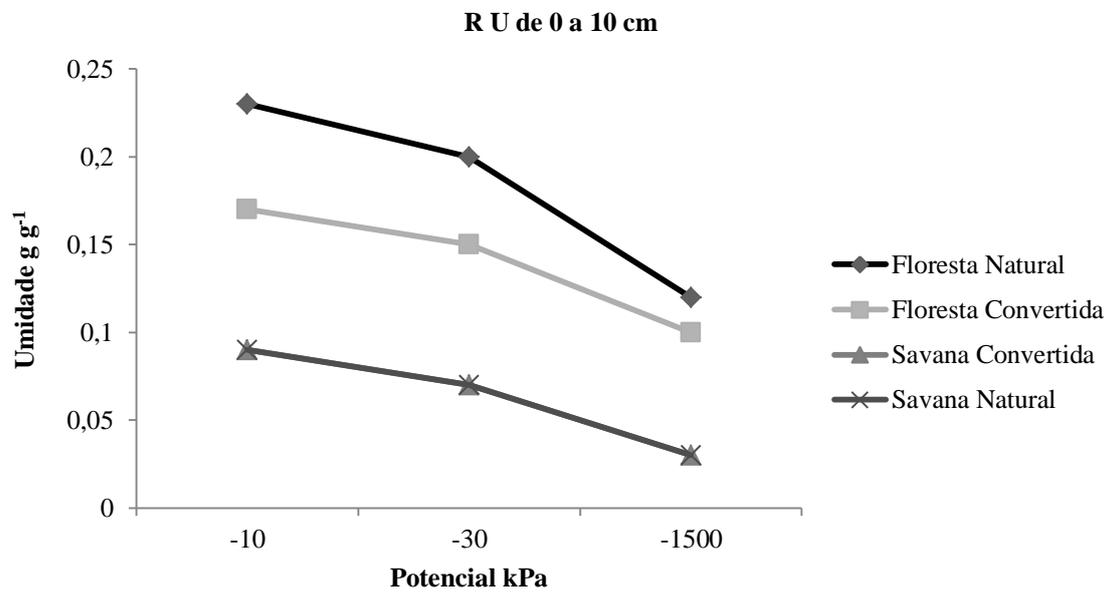


Figura 10: Retenção de Umidade de cada Área em três potenciais mátricos na profundidade de 10 a 20 cm.

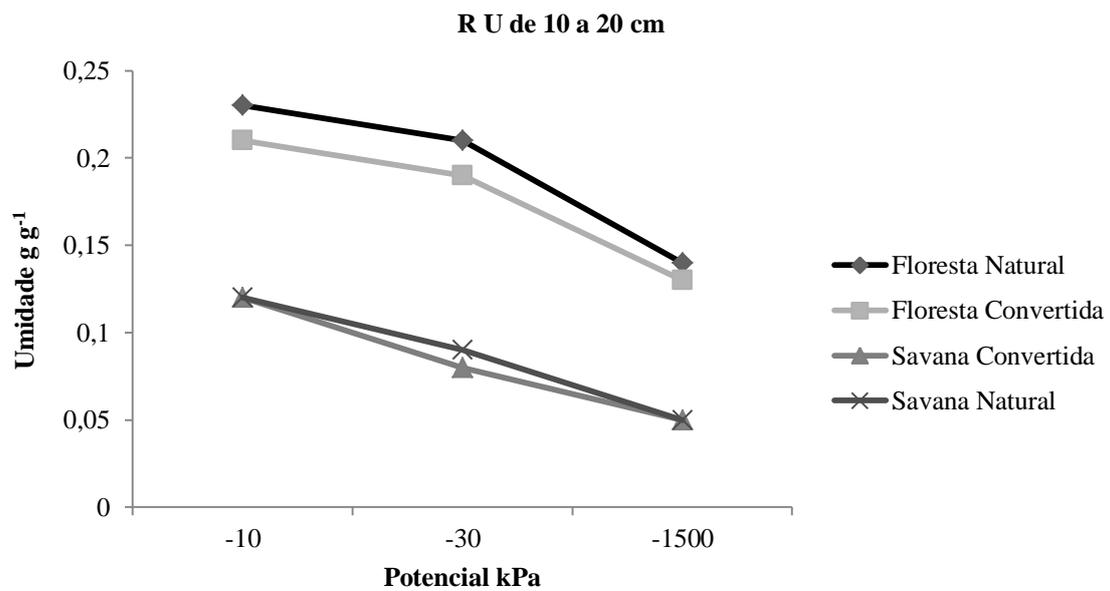


Tabela 15: Resumo da análise se variância para as médias de Umidade do Solo nos Potenciais segundo o teste de Fischer na profundidade de 20 a 40 cm.

Prof. de 20 a 40 cm	Potencial -10 KPa			Potencial - 30 KPa			Potencial - 1.500 KPa			
	FV	QM	F	SIG	QM	F	SIG	QM	F	SIG
Tratamento		0,017	56,16	**	0,019	71,54	**	0,013	91,49	**
Repetição		0,00047	1,50	ns	0,00049	1,83	ns	0,00033	2,29	ns
Resíduo		0,00031			0,00026			0,00014		
CV (%)		8,78			9,77			11,30		

Onde: FV: Fontes de Variação; QM: Quadrado Médio; F: valor do teste de Fischer e SIG: * significativo a 5%; ** altamente significativo a 1%.

Figura 11: Retenção de Umidade de cada Área em três potenciais mátricos na profundidade de 20 a 40 cm.

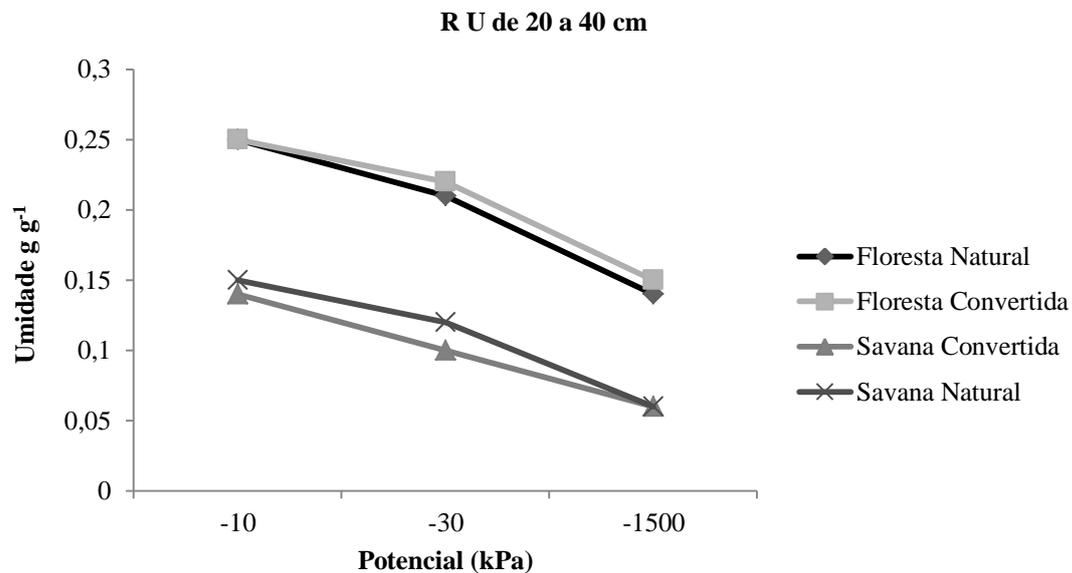


Tabela 16: Resultado da análise de variância para as médias do teor de Matéria Orgânica do Solo segundo o Teste de Fischer (5%).

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F	SIG
Total	59	80,06			
Repetição	4	1,60	0,40	1,21	ns
Profundidade	2	15,03	7,51	41,72	**
Tratamento	3	44,70	14,90	45,15	**
Resíduo a	12	4,05	0,33		
Prof. x Trat.	6	8,81	1,46	8,11	**
Resíduo b	32	5,84	0,18		
Média Geral	1,53				
C.V (%)	27,77				

F.V: Fontes de Variação; G.L: Graus de Liberdade; S.Q: Soma de Quadrados; Q.M: Quadrado Médio; F: Teste de Fischer; SIG: * significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns: não significativo.

Figura 19: Matéria Orgânica do Solo (MOS em %) de cada Área a diferentes profundidades.

