



FERNANDO DE SOUSA ALBUQUERQUE  
YEDA MÁRLEY DA CRUZ MAGALHÃES

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DE UM LATOSSOLO AMARELO  
DISTRÓFICO PRESENTE NO IFPA – CAMPUS CASTANHAL SOB DIFERENTES  
USOS.**

CASTANHAL  
2016  
FERNANDO DE SOUSA ALBUQUERQUE

YEDA MÁRLEY DA CRUZ MAGALHÃES

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DE UM LATOSSOLO AMARELO  
DISTRÓFICO PRESENTE NO IFPA – CAMPUS CASTANHAL SOB DIFERENTES  
USOS.**

Trabalho Acadêmico de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Pará – IFPA - Campus Castanhal, como  
requisito para obtenção do grau de Bacharel em  
Agronomia.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Luis Nery Rodrigues.

CASTANHAL  
2016

Dados para catalogação na fonte  
Setor de Processamento Técnico Biblioteca  
IFPA - Campus Castanhal

- 
- A345c    Albuquerque, Fernando de Sousa  
          Caracterização físico-hídrica de um Latossolo Amarelo Distrófico  
          presente no IFPA – Campus Castanhal sob diferentes usos. / Fernando  
          de Sousa Albuquerque, Yeda Márley da Cruz Magalhães. — 2016.  
          67 f.
- Impresso por computador (fotocópia).  
          Orientador: Prof. Dr. Luis Nery Rodrigues  
          Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia  
          Agrônômica) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia  
          do Pará – IFPA, 2016.
1. Agronomia – Castanhal (PA). 2. Solos. 3. Solos - Manejo. 4.  
          Irrigação. I. Magalhães, Yeda Márley da Cruz. II. Instituto Federal de  
          Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. III. Título.

CDD: 630.98115

FERNANDO DE SOUSA ALBUQUERQUE  
YEDA MÁRLEY DA CRUZ MAGALHÃES

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DE UM LATOSSOLO AMARELO  
DISTRÓFICO PRESENTE NO IFPA – CAMPUS CASTANHAL SOB DIFERENTES  
USOS**

Trabalho Acadêmico de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA – Campus  
Castanhal. Como requisito para obtenção de Grau  
de Bacharel em Agronomia.

Data de defesa: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Conceito: \_\_\_\_\_

---

Orientador: Profº. Dr. Luis Nery Rodrigues  
Professor Titular/IFPA – Campus Castanhal

---

Profº. Dr. Cícero Paulo Ferreira  
Professor Titular/IFPA – Campus Castanhal

---

Profº. Dr. João Tavares Nascimento  
Professor Titular/IFPA – Campus Castanhal

Aos meus pais Fernando Antônio e Lêda Cristina que sempre ao meu lado deram exemplos de amor e respeito, além da perseverança e do sentimento de justiça em cada ato.

*Fernando de Sousa Albuquerque*

A Deus, meu maior mestre, por me dar saúde e força para superar as dificuldades. Aos meus pais Hamilton e Imaculada por me ensinarem a viver com dignidade, pelo apoio em todos os momentos desta e de outras caminhadas sendo minha fortaleza nos momentos difíceis.

*Yeda Márley da Cruz Magalhães*

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho de pesquisa exigiu muita dedicação na busca de informações e no trabalho de construção e análise dos resultados. No entanto grande parte do trabalho se deu no campo, na execução das metodologias de determinação dos parâmetros estudados, o que exigiu grande força de trabalho conjunto. Às pessoas que tanto nos apoiaram na execução dessas árduas tarefas eu afirmo aqui meu profundo agradecimento.

Agradeço aos dedicados Professores do Instituto Federal do Pará – Campus Castanhal que me ensinaram muito além do conhecimento necessário para me tornar um profissional de excelência na agronomia. E que também me servem de exemplo nos quais me espelho para que no futuro possa ter a oportunidade, de assim como eles, usufruir e disseminar, com excelência, o conhecimento adquirido a cerca da agronomia.

Agradeço em especial aos meus amigos de turma pela amizade e apoio.

Agradeço em especial a Yeda Magalhães pela imensa dedicação no apoio a conclusão deste trabalho.

Agradeço em especial ao Professor Luis Nery Rodrigues pela oportunidade, pela cobrança e pela sua dedicação.

Agradeço a minha família pelos exemplos que por toda a minha vida irão me guiar no meu papel como cidadão e profissional.

*Fernando*

## AGRADECIMENTOS

Para transformar um sonho em realidade é necessário muito esforço, dedicação e perseverança e não conseguiria nada disso sozinha. Muito obrigado a todos que colaboraram para essa conquista.

Sou grata a Deus pelo dom da vida, por me fortalecer a cada dia com seu infinito amor. Agradeço aos meus pais Hamilton e Imaculada pelo amor e incentivo por todos esses anos e por cada oração ao meu favor, vocês são meus exemplos de vida.

Agradeço aos meus irmãos Yulle, Ianny, Keith (a qual não pude conhecer) e Daniel por todo amor e carinho.

Ao Fernando, companheiro de caminhada ao longo desse curso, por toda paciência, compreensão e dedicação, muito obrigada.

Aos meus tios, tias, primos e amigos que sempre estiveram presentes mesmo a distância. Aos meus colegas de classe obrigada pela parceria, que Deus abençoe a vida de vocês.

A esta instituição, assim como a todos os funcionários que possibilitaram a realização dessa conquista. A todos os professores do curso, que foram importantes para minha vida acadêmica.

Agradeço ao professor e orientador Nery por seus ensinamentos, paciência e confiança que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Obrigada a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão dessa etapa da minha vida.

*Yeda*

“Parabenizo ao Agrônomo  
Pela brilhante carreira  
E pela contribuição  
As famílias brasileiras

Se a colheita é abundante  
O povo é mais feliz  
E traz muitos benefícios  
E progresso ao País

Deixo a singela homenagem  
Com imensa alegria  
Em nome dos brasileiros  
Parabéns aos engenheiros  
Da querida agronomia.”

**Hamilton Magalhães**



## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a determinação de características físico-hídricas de um Latossolo Amarelo Distrófico sob diferentes formas de uso localizado no Instituto Federal do Pará – Campus Castanhal. A pesquisa foi desenvolvida no período de 2014 – 2015, sob diferentes sistemas, sendo um ecossistema (Mata secundária) e quatro agroecossistemas (Urucunzal, Açaizal, Sistema agroflorestal e Pasto), dos quais foram determinadas as seguintes características físico-hídricas: Textura do solo, Densidade aparente do solo, Densidade de partículas sólidas do solo, Porosidade total, Macroporosidade, Microporosidade, Capacidade de campo, Ponto de Murchamento Permanente e Curva característica de retenção de água; sendo estudadas duas profundidades 0-20 cm e 20-40 cm constituindo um esquema fatorial 5 x 2. Para a capacidade de campo foi considerado um esquema fatorial 5 x 2 x 2 (5 sistemas e 2 profundidades descritas e 2 métodos, método de campo e método de laboratório). A influência da forma de uso sobre as propriedades físico-hídricas foi verificada por meio do teste F (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Foi observado que a transformação do ecossistema em agroecossistemas, assim como as diferentes formas de implantação e manejo dos agroecossistemas, promoveram alterações nas propriedades físico-hídricas estudadas sendo as áreas de Açaizal, Urucunzal e Pasto as que mais se diferenciaram. O Sistema Agroflorestal apresentou propriedades mais semelhantes ao ecossistema Mata. Entre os agroecossistemas verificou-se maior degradação dos atributos físicos do solo cultivado no Pasto e Urucunzal seguidos por SAF e Açaizal em relação ao de Mata, quantificada pelos maiores valores de densidade do solo e menores de porosidade total. A camada de 20-40 cm no solo estudado apresentou uma compactação natural elevada com valor médio de densidade de 1,64 g cm<sup>-3</sup>. Ambos métodos estudados para determinação da capacidade de campo são confiáveis de modo que em alguns casos não houve diferença significativa entre os métodos, a exemplo dos sistemas Mata e SAF.

Palavras - chave: Qualidade física do solo. Manejo do solo. Agroecossistemas. Irrigação.

## ABSTRACT

The objective of this was to determine the physical-hidric characteristics of a Yellow Latosol Dystrophic under different forms of use located at the Federal Institute of Pará - Castanhal Campus. The research was carried out during the years 2014 and 2015, under different systems: one ecosystem (secondary Forest) and four agro-ecosystems (Urucuzal, Açaizal, Agroforestry System and Pasture). Were determined the following physical-hidric characteristics: Soil Texture, Bulk Density, Density of Solid Particles, the Total Porosity, Macro and Microporosity, Field Capacity, Permanent Wilting Point and Curve of Water Retention Characteristic; and two depths 0-20 cm and 20-40 cm in a scheme factorial 5 x 2. For the field capacity was considered a scheme factorial 5 x 2 x 2 (5 systems x 2 depths x 2 methods, Field and Laboratory methods). The effect of the form of use in physical-hidric properties was verified by the F test (ANOVA) and the means were compared by Scott-Knott test at 5% probability. It was observed that the transformation of the ecosystem in agricultural ecosystems, as well as the different forms of deployment and management were studied, promoted changes in physical and hidric properties studied and areas of Açaizal, Urucuzal and Pasture those more differentiated. The Agroforestry System presented most similar properties to the Forest ecosystem. Among the agro-ecosystems there was a higher degradation of soil physical attributes of pasture and Urucuzal followed by Agroforestry and Açaizal in relation to the Forest, quantified by higher bulk Density values and lower total Porosity. The layer of 20-40 cm in the studied soil had a high natural compression with an average value of 1.64 g cm<sup>-3</sup> Bulk Density. Both methods used for determining the field capacity are reliable so that in some cases there was no significant difference between the methods, like the Forest and Agroforestry System.

Key - words: Soil physical quality. Soil management. Agro-ecosystems. Irrigation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização das áreas estudadas. ....	27
Figura 2 - Área de estudo: Mata. ....	29
Figura 3 - Área de estudo: Pasto.....	29
Figura 4 - Área de estudo: Urucunzal.....	30
Figura 5 - Área de estudo: Açaizal. ....	30
Figura 6 - Área de estudo: Sistema Agroflorestal. ....	31
Figura 7 - Coleta das amostras deformadas e indeformadas de solos para análises físico-hídricas. ....	32
Figura 8 - Amostra indeformada para determinação da densidade do solo.....	34
Figura 9 - Método do balão volumétrico para determinação da densidade de partículas do solo. ....	34
Figura 10 - Construção de diques para determinação da capacidade de campo pelo método direto.....	36
Figura 11 - Uso de amostras deformadas no método de Richards para determinação da curva característica de retenção de água. ....	38
Figura 12 - Curvas de retenção ajustadas pelo modelo de van Genuchten (1980) de Latossolo Amarelo Distrófico em área de Pasto, Urucunzal, SAF, Açaizal e Mata. ....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos solos de acordo com a sua condutividade hidráulica.....	23
Tabela 2 - Distribuição aproximada das áreas das principais classes de solos mapeados no Estado do Pará. ....	25
Tabela 3 - Valores médios da Matéria Orgânica do Solo (MOS) e da Granulometria.....	33
Tabela 4 - Resumo da análise da variância e médias para as variáveis Densidade do Solo (ds) e Densidade de partículas (dp), em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (P). ....	41
Tabela 5 - Desdobramento das médias das variáveis Densidade do Solo e Densidade de Partículas em função dos fatores estudados, Sistema e Profundidade. ....	41
Tabela 6 - Resumo da análise da variância e médias para as variáveis Porosidade Total ( $\alpha$ ), Microporosidade e Macroporosidade, em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (P). ....	44
Tabela 7 - Desdobramento das médias das variáveis Porosidade Total, Microporosidade e Macroporosidade do solo em função dos fatores estudados, Sistema e Profundidade.....	45
Tabela 8 - Resumo da análise da variância e médias para as variáveis Capacidade de Campo (CC), Ponto de Murchamento Permanente (PMP) e Água Disponível (AD), em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (P). ....	46
Tabela 9 - Desdobramento das médias das variáveis Capacidade de Campo, Ponto de Murchamento Permanente e Água Disponível do solo em função dos fatores estudados, Sistema e Profundidade. ....	46
Tabela 10 - Resumo da análise da variância e médias para as variáveis Capacidade de Campo (CC), em função dos fatores estudados, Sistema (S), Profundidade (P) e Método (M)....	47
Tabela 11 - Desdobramento das médias da variável Capacidade de Campo do solo em função dos fatores estudados, Sistema, Método e Profundidade. ....	48
Tabela 12 - Parâmetros empíricos para uso em modelo de van Genuchten por forma de uso e profundidade.....	50
Tabela 13 - Valores observados e valores ajustados pelo modelo de van Genuchten (1980) da curva de retenção e água disponível em solos sob diferentes formas de uso. ....	51

## LISTA DE EQUAÇÕES

Densidade do solo.....	33
Densidade de partículas .....	35
Porosidade total.....	35
Microporosidade.....	35
Macroporosidade .....	36
Capacidade de campo pelo método direto .....	37
Capacidade de campo pelo método de laboratório .....	37
Água disponível.....	38
van Genuchten.....	39

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1	Objetivo geral .....	15
2.2	Objetivos específicos .....	15
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
3.1	Qualidade física do solo .....	16
3.2	Granulometria .....	17
3.3	Densidade .....	17
3.4	Porosidade .....	18
3.5	Umidade do solo .....	19
3.6	Capacidade de campo .....	20
3.7	Ponto de murchamento permanente .....	20
3.8	Água disponível .....	20
3.9	Curva de retenção de umidade .....	21
3.10	Resistência à penetração .....	22
3.11	Condutividade hidráulica .....	22
3.12	Matéria orgânica .....	23
3.13	Latossolos .....	24
3.14	Manejo da irrigação .....	25
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODO .....</b>	<b>26</b>
4.1	Características da área de estudo .....	26
4.1.1	Localização da área .....	26
4.1.2	Descrição das áreas de estudo .....	26
4.2	Coleta das amostras .....	31
4.3	Teor de matéria orgânica .....	32
4.4	Características físico-hídricas do solo avaliadas .....	32
4.4.1	Composição granulométrica (textura do solo) .....	32
4.4.2	Densidade do solo .....	33
4.4.3	Densidade de partículas .....	34
4.4.4	Porosidade total .....	35
4.4.5	Microporosidade .....	35
4.4.6	Macroporosidade .....	36
4.4.7	Capacidade de campo pelo método direto .....	36
4.4.8	Capacidade de campo pelo método de laboratório .....	37
4.4.9	Ponto de murchamento permanente pelo método de laboratório .....	37
4.4.10	Água disponível .....	37
4.4.11	Curva característica de retenção de água .....	38
4.5	Análise estatística .....	39
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>40</b>
5.1	Densidade do solo e densidade de partículas .....	40
5.2	Porosidade .....	43
5.3	Retenção de umidade (CC, PMP e AD) .....	45

5.3.1	Capacidade de campo .....	47
5.3.2	Ponto de murchamento permanente .....	48
5.3.3	Água disponível.....	48
5.4	<b>Curva de retenção</b> .....	50
6	<b>CONCLUSÃO</b> .....	55
7	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	56
	<b>ANEXOS</b> .....	61

## 1 INTRODUÇÃO

A retirada da cobertura vegetal natural implica na rápida degradação dos solos, pois a cobertura vegetal constitui uma espécie de barreira natural. Isto se deve a diversificação intra e interespecífica presentes nas florestas, a qual, com raras exceções, não se encontra dentro de monoculturas. Sistema este inviável ecológica e economicamente, só se sustentado graças à rápida degradação ambiental e aos créditos subsidiados (CAMPOS, 1998).

Na Amazônia, segundo Neves Júnior (2005), há uma grande necessidade de se transformar os recursos degradados em áreas produtivas, ajustando a melhoria na qualidade de vida humana à capacidade de suporte dos ecossistemas; devendo-se buscar alternativas de uso e manejo do solo que sejam mais adaptadas à realidade local, se tornando indispensáveis pesquisas que forneçam dados consistentes para a implantação de técnicas de manejo que garantam a sustentabilidade do sistema em longo prazo, mantendo um ambiente favorável para o crescimento de plantas, sem limitações relacionadas à disponibilidade de água, aeração e impedimento mecânico.

No Pará, a prática centenária da capoeira que consiste na retirada da vegetação natural, deixada inculta por alguns anos para recuperar a vegetação, voltando a ser desmatada e queimada, restituindo a fertilidade perdida, torna o uso do solo possível a curto/médio prazo. Porém com as sucessivas derrubadas e queimadas, com menores períodos de pousio devido a pressão demográfica, acaba provocando a degeneração do meio físico natural inviabilizando-o para a produção agrícola (CAMPOS, 1998).

A capacidade do solo em proporcionar condições adequadas para o crescimento e desenvolvimento da planta é considerada uma qualidade física do solo. No solo, condições físicas favoráveis determinam os fluxos de água, calor e gases. Os fatores físicos presentes interagem e regulam o crescimento e a funcionalidade das raízes, como a influência da umidade do solo na aeração, temperatura e resistência mecânica do solo, as quais também são afetadas pela densidade do solo e distribuição do tamanho de poros (COLLARES et al., 2006).

O uso na agricultura de solos anteriormente sob vegetação natural tem, frequentemente, mostrado alterações nas propriedades físico-químicas e biológicas, as quais são dependentes das condições do solo, do clima, do tipo de cultura e das práticas culturais adotadas. Isso leva



ao estabelecimento de uma nova condição de equilíbrio no sistema de acordo com a interação destas condições (MARCHIORI JÚNIOR & MELO, 2000).

Grupos de solos que apresentam muitas diferenças em suas características são também contrastantes na sua capacidade de uso, pois as peculiaridades do seu manejo não poderão ser semelhantes. Torna-se importante a avaliação de cada tipo de solo para condicionar um melhor aproveitamento do mesmo. Assim, diante de todos os graus de declive e todos os tipos de clima combinados de diferentes maneiras, percebe-se como pode diferir grandemente o tipo de uso do solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2012).

Logo, os estudos para observação das características dos solos, destacando-se os atributos físico-hídricos, devem ser intensificados, permitindo melhores tomadas de decisões na forma de uso e manejo do solo dentro da produção agrícola, evitando a degradação da qualidade do mesmo viabilizando o seu uso a longo prazo.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Determinar e avaliar atributos físico-hídricos de um Latossolo Amarelo Distrófico em ambiente de floresta secundária e diferentes agroecossistemas no IFPA – Castanhal.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinar os atributos físico-hídricos do solo (textura, densidade, porosidade, capacidade de campo, ponto de murchamento permanente e água disponível) para caracterização dos ambientes estudados.
- Traçar curvas características de retenção de água de diferentes agroecossistemas e de floresta secundária.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Qualidade física do solo**

A qualidade física do solo é fundamental para a sustentabilidade global dos agroecossistemas. Tratando-se de um conceito dinâmico e abrangente, tendo sido discutido desde o início da década de 1990 (MARCHÃO et al., 2007). Para determinação desta qualidade devem ser levados em consideração a capacidade, dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, de manter a produtividade e a biodiversidade vegetal e animal (GOMES, 2010).

Três aspectos são usualmente considerados para avaliação da qualidade do solo: físico, químico e biológico, sendo importantes nas avaliações da extensão da degradação ou melhoria do solo, auxiliando na identificação da sustentabilidade dos sistemas de manejo. Acredita-se que o caráter físico merece destaque por este influenciar fortemente nos processos químicos e biológicos no solo (ARATANI et al., 2009).

A avaliação da qualidade física do solo envolve a obtenção de dados de difícil aquisição com dispêndio de tempo e recursos para serem determinados. São estudos baseados em análises quantitativas de propriedades isoladas. Porém, é a interação entre estes aspectos que determinam a qualidade do solo (NEVES JÚNIOR, 2005). Os indicadores físicos que podem ser observados para determinação da qualidade do solo estão relacionados ao arranjo das partículas e do espaço poroso do solo, incluindo densidade, porosidade, estabilidade de agregados, textura, encrostamento superficial, compactação, condutividade hidráulica e capacidade de armazenagem de água disponível (GOMES, 2010).

A degradação do solo tem sido acelerada devido a atividade agrícola com ênfase na monocultura, geralmente ultimada pelo superpastejo e uso do fogo (FARIA & FRANCO, 1994). Nesta dinâmica, solos sob área nativa dos cerrados revelam favoráveis propriedades físicas, porém com o uso intensivo de práticas inadequadas na produção agrícola, são notadas modificações nas suas características originais. Como consequência há o aumento da densidade do solo, maior resistência a penetração e diminuição da porosidade (CAVENAGE et al., 1999), com consequente perda de fertilidade natural do solo.

### 3.2 Granulometria

As partículas do solo são classificadas quanto ao diâmetro, dividindo-se em areia (2 mm a 50  $\mu$ m ou 0,05 mm), silte (50 a 2  $\mu$ m ou 0,05 mm a 0,002 mm) e argila (menos que 2  $\mu$ m ou 0,002 mm). O estudo da distribuição do tamanho das partículas em um solo, por meio de uma análise granulométrica, permite o entendimento do efeito da textura nas propriedades físicas do solo. Sendo possível a indicação da qualidade do solo sob diversos aspectos: drenagem, erosão, adsorção de nutrientes e pesticidas, entre outros (PEDRO VAZ, NAIME & SILVA, 1996).

A textura do solo determina a distribuição dos poros e por isto influencia fortemente a capacidade de infiltração e retenção de água. Em um solo arenoso a infiltração é mais rápida e com pouca retenção devido ao predomínio de macroporos, enquanto que nos solos argilosos existe maior retenção de água devido à presença dos microporos que a retém contra a força da gravidade (MOLINE et al., 2013b). Alvarenga et al. (2010) constataram forte correlação existente da textura com a capacidade de campo e ponto de murchamento permanente, com destaque para as frações areia e silte, nesta ordem de influência.

Moline et al. (2013a), em estudos para determinação do ponto de murcha permanente em solos arenoso e argiloso, observaram que a planta indicadora (tomateiro) atingiu este ponto em quatro dias no solo de textura arenosa e em cinco dias no solo de textura argilosa, constatando que os solos de textura arenosa apresentaram menor capacidade de retenção de umidade em comparação com os solos argilosos.

### 3.3 Densidade

A densidade do solo ( $d_s$ ) é um índice que indica o grau de compactação de um solo tendo em vista que a mesma é calculada por meio da pesagem da massa do solo seco ( $M_s$ ) e volume total ( $V_t$ ) da amostra. Logo ao se compactar uma amostra, a  $M_s$  permanece constante, enquanto percebe-se diminuição do  $V_t$ , como consequência a  $d_s$  aumenta.

Trata-se da propriedade física mais estudada e monitorada, tendo variação dos seus valores, em sua maior parte, proveniente das diferenças no volume total de poros, de modo que densidade e porosidade estão muito relacionadas e por isso são apresentadas de forma conjunta (FERREIRA et al., 2010).

A textura do solo influencia diretamente na densidade do mesmo. Solos de textura grossa (arenosos), por possuírem maiores diâmetro de partícula, apresentam menor porosidade e se encontram em uma faixa de densidade que oscila entre 1,4 a 1,8 g cm<sup>-3</sup>. Enquanto solos de textura fina (argilosos), com partículas de menor diâmetro, apresentam maior porosidade e se encontram em uma faixa de densidade que oscila entre 0,9 a 1,6 g cm<sup>-3</sup> (REICHARDT & TIMM, 2004).

Para Kiehl (1985), a densidade do solo depende da sua natureza, das dimensões, das formas e de como se acham dispostas suas partículas. Esse autor relata que a densidade em solos arenosos, de textura grossa, varia entre 1,4 e 1,6 g cm<sup>-3</sup> e em solos argilosos, de textura fina, varia entre 1,2 e 1,4 g cm<sup>-3</sup> e que solos com densidades elevadas, entre 1,7 a 1,9 g cm<sup>-3</sup>, inibem a emergência das sementes e dificultam a penetração das raízes.

Solos que sofrem compactação têm aumento da densidade e da resistência à penetração e redução da macroporosidade ou porosidade de aeração. Podendo se tornar um fator limitante para cultivos conforme flutuações na umidade do solo, que afetam a sua resistência do solo e porosidade de aeração (COLLARES et al., 2006). Em solos compactados, o uso de matéria orgânica é recomendado, pois tem efeito imediato devido o material cuja densidade vai de 0,2 a 0,4 g cm<sup>-3</sup> se junta a terra, com densidade entre 1,2 a 1,4 g cm<sup>-3</sup> (KIEHL, 1985).

### **3.4 Porosidade**

Segundo Libardi (2005), a porosidade do solo trata-se de um índice que quantifica a fração do volume do solo ocupada pelos poros. Esta característica está inversamente relacionada com a densidade do solo, isto é, quanto maior essa densidade, menor a porosidade. Os poros do solo são classificados em termos de diâmetro de poro, pois, em física do solo, se define tamanho de poro como o diâmetro da maior esfera inscrita no interior do espaço ocupado pelo poro, podendo ser denominado: macroporo ( $\varnothing \geq 0,05$  mm) e microporo ( $\varnothing < 0,05$  mm).

Para a caracterização físico-hídrica do solo, a avaliação da porosidade total é de extrema importância. Pois é no volume de espaços vazios existentes entre as partículas individuais e agregados que se forma a porosidade do solo, e esta determina a capacidade dele de armazenar e transmitir líquidos e gases, por conseguinte, no comportamento agrícola e geotécnico dos mesmos, se fazendo necessário o manejo adequado para conservação e/ou aumento deste volume (OLIVEIRA, 2011).

A presença de maior volume de microporos permite retenção da água com mais força, predominando a retenção da água por adsorção e a condutividade capilar, enquanto a infiltração e o arejamento (trocas gasosas) diminuem. Já em macroporos a água retida é facilmente removida pela própria gravidade (RESENDE et al., 2007).

A perda da porosidade no solo pode ser provocada pela redução do teor de matéria orgânica, pela compactação e pelo efeito do impacto das gotas de chuva, fatores esses que provocam uma diminuição no tamanho dos agregados maiores, reduzindo, em consequência, o tamanho dos poros. Em contrapartida, existem práticas que melhoram a estrutura, consequentemente melhorando a aeração do solo, como rotação de culturas (leguminosas e gramíneas) e a manutenção da matéria orgânica por meio da incorporação de restos culturais (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2012).

### **3.5 Umidade do solo**

Conhecer a umidade do solo é de suma importância, pois a mesma influencia diretamente no volume de água nele armazenado, assim como na sua resistência e na compactação. Assim, deve ser conhecida a umidade do solo para estudos do movimento da água no solo, disponibilidade de água, erosão, época e quantidade de água a ser aplicada em irrigação (BERNARDO, SOARES & MANTOVANI, 2008).

A água é essencial no sistema solo-planta pois funciona como solvente dos nutrientes e como meio de transporte no interior dos vegetais. A água do solo é oriunda das chuvas ou das irrigações, onde é retirada pelas plantas principalmente pelas raízes, sendo que entre 30 a 70% da água oriunda das chuvas penetram no solo sendo armazenada nos horizontes superficiais enquanto parte escorre pela superfície (KIEHL, 1985).

A umidade do solo pode apresentar valores elevados em áreas com cobertura vegetal. Segundo Souza (2000) citado por Alves, Suzuki & Suzuki (2007), isto ocorre devido à influência que a vegetação exerce sobre as propriedades físicas do solo. A vegetação promove proteção contra impacto das gotas de chuva e do efeito cimentante e estabilizador de substâncias orgânicas excretadas pelas raízes. Ainda segundo este autor, os valores da taxa ou velocidade de infiltração básica estão inversamente associados aos da densidade do solo.

### **3.6 Capacidade de campo**

Capacidade de campo é a condição em que o solo se encontra com pequena ou nula capacidade de drenagem. Assim, a água localizada na superfície do solo terá um movimento vertical para baixo, que somente diminuirá significativamente quando o teor de umidade do solo for tal que a sua capacidade de drenagem se torne muito pequena (BERNARDO, SOARES & MANTOVANI, 2008).

Em muitos solos não se observa uma nítida transição de movimento significante para negligenciável e que o termo capacidade de campo descreverá a condição de movimento vertical para baixo com intensidade muito lenta, em geral, atingindo poucos dias após a irrigação (BERNARDO, SOARES & MANTOVANI, 2008).

### **3.7 Ponto de murchamento permanente**

Ponto de murchamento permanente representa a condição em que a planta murcha durante a tarde, não recuperando a sua turgidez durante a noite, permanecendo murcha na manhã seguinte. Somente recuperando sua turgidez após uma irrigação ou chuva. Ou seja, representa o teor de umidade no solo abaixo do qual a planta não conseguira retirar água na mesma intensidade com que ela transpira, aumentando gradativamente a deficiência de água na planta, o que levará à morte caso não seja irrigada (BERNARDO, SOARES & MANTOVANI, 2008).

### **3.8 Água disponível**

A água disponível no solo corresponde à água nele armazenada no intervalo entre as umidades correspondentes à capacidade de campo e ao ponto de murchamento permanente (BERNARDO, SOARES & MANTOVANI, 2008). Esta quantidade de água armazenada, depois de precipitações intensas, é muito variável, podendo estar relacionada com fatores edáficos como textura, estrutura e conteúdo de matéria nos sucessivos horizontes (PAZ GONZALES et al., 1986 citados por COSTA & TEIXEIRA, 1992).

Para calcular o nível de água disponível em um solo é necessário que se conheçam os teores de umidade correspondentes à CC e ao PMP, as propriedades físicas do solo e a profundidade do solo que está sendo observado. Na irrigação, a profundidade considerada é referente à profundidade efetiva do sistema radicular da cultura implantada (BERNARDO, SOARES & MANTOVANI, 2008).

### 3.9 Curva de retenção de umidade

A curva retenção de água no solo, também conhecida como curva característica de água no solo, expressa a relação entre o conteúdo de água (em base de massa ou volume) e o potencial matricial da água no solo (força de ligação entre as moléculas de água e as partículas de solo) (ANDRADE JÚNIOR et al., 2007).

Os teores de água correspondentes aos potenciais de -0,1 bar (-10 KPa) e -0,3 bar (-30 KPa) correspondem ao nível de água em capacidade de campo (CC) em solos arenosos e argilosos, respectivamente. Para o ponto de murchamento permanente a tensão -15 bar (-1500 KPa) corresponde ao nível de umidade em ponto de murchamento permanente (PMP), independente da textura do solo. A quantidade de água existente entre a CC e o PMP corresponde a água disponível (AD), esta, teoricamente, é a quantidade de água no solo que pode ser utilizada pelas plantas (LIBARDI, 2005).

A curva característica de umidade é de fundamental importância no estudo físico do solo, pois reflete a influência da estrutura, porosidade, distribuição do tamanho dos poros e absorção, sobre o estado da água do solo. Sendo essas condições e a distribuição como variam no perfil responsáveis em determinar a direção e velocidade do movimento da água no solo e na absorção pelas plantas (MONTEIRO, 1976 citado por COSTA & TEIXEIRA, 1992).

A curva de retenção de água do solo pode ser utilizada na comparação de sistemas de manejo e também como indicadora da qualidade físico-hídrica do solo (MARCHÃO et al., 2007). A capacidade de retenção de água na zona radicular varia, basicamente, devido à textura e estrutura do solo, a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura e a profundidade da camada de solo (BERNARDO, SOARES & MANTOVANI, 2008).

A retenção de água no solo é explicada por meio de dois processos. Nos microporos a retenção pode ser ilustrada pelo fenômeno da capilaridade, o qual está associado a uma interface curva ar-água. Enquanto na superfície do solo ocorre a retenção por meio do processo de adsorção. Ambos, forças capilares e forças de adsorção, dão origem ao potencial mátrico (LIBARDI, 2005).

Collares et al. (2006), estudando Argissolo no cultivo de feijoeiro, observaram que a CC e o PMP aumentaram com o aumento da densidade do solo, sendo justificado pelo aumento da densidade que promove a redistribuição dos tamanhos de poros, com redução da macroporosidade e aumento da microporosidade do solo.



Estudos realizados por Silva, Fidalski & Bertol (2011) em Latossolo Vermelho Típico, Argissolo Vermelho Abrupto e Neossolo Quartzarênico, mostraram que solos com textura arenosa apresentam menores valores de água disponível, sendo 0,06 e 0,08 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> em camadas superficiais; e maiores teores de água disponível em camadas subsuperficiais de textura média (maior teor de argila), com 0,09 e 0,11 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>.

### **3.10 Resistência à penetração**

Collares et al. (2006) afirmam que a resistência à penetração é o fator que mais afeta o crescimento radicular das plantas por representar a força com que as raízes das plantas devem exercer para romper o solo. E segundo Aguiar (2008) a densidade do solo proporciona um indicativo do estado de compactação do solo, sendo variável com o conteúdo de umidade, textura e estrutura do mesmo.

Em geral, solos pastejados ou cultivados, apresentam maior resistência à penetração quando comparados com solos sob vegetação natural devido ao uso agrícola provocar degradação da estrutura do solo (AGUIAR, 2008).

### **3.11 Condutividade hidráulica**

A condutividade hidráulica do solo é um fator essencial para o estudo do movimento da água no solo. Trata-se de uma propriedade que expressa a facilidade com que a água nele se movimenta, de extrema importância para a produção agrícola e para a preservação do solo e do ambiente. Favorece o entendimento da dinâmica da água, do transporte de elementos químicos, nutrientes e defensivos agrícolas (GONÇALVES & LIBARDI, 2013).

Este fator também é utilizado para caracterizar os meios porosos como permeáveis ou condutivos (baixa resistência à passagem de água), semipermeáveis (média resistência) e pouco permeáveis (alta resistência hidráulica), quando seus valores forem altos, médios e baixos, respectivamente. Juntamente com porosidade drenável (macroporosidade) a condutividade hidráulica são as propriedades do solo mais relevantes para a drenagem (MANTOVANI, BERNARDO & PALARETTI, 2009).

Klein & Libardi (2002) observaram diminuição da condutividade hidráulica em Latossolo Roxo, não saturado, que sofreu aumento na densidade, redução da porosidade e alteração na distribuição do diâmetro dos poros em condições de diferentes formas de uso e manejo do solo. Albuquerque, Sangoi & Ender (2001) também observaram redução da

condutividade hidráulica devido à redução dos macroporos em solos com integração lavoura-pecuária.

Os solos podem ser classificados de acordo com o seu coeficiente de permeabilidade, sendo que para solos mais grossos (arenosos – com partículas e poros maiores) apresentam maiores valores do que solos mais finos (argilosos) (DIAS, 2012). A Tabela 1 apresenta alguns valores típicos de condutividade hidráulica para alguns solos.

Tabela 1 - Classificação dos solos de acordo com a sua condutividade hidráulica.

<b>Tipo de solo</b>	$K_{sat}$ (m/s)	$K_{sat}$ (m/dia)
Argilas	$<10^{-9}$	$<8,64 \times 10^{-5}$
Siltes	$10^{-6}$ a $10^{-9}$	$8,64 \times 10^{-2}$ a $8,64 \times 10^{-5}$
Areias argilosas	$10^{-7}$	$8,64 \times 10^{-3}$
Areais finas	$10^{-5}$	$8,64 \times 10^{-1}$
Areias médias	$10^{-4}$	$8,64 \times 10^0$
Areias grossas	$10^{-3}$	$8,64 \times 10^1$

Fonte: Adaptado de Pinto (2002).

Fiori, Campos & Almeida (2010), em estudo de avaliação do comportamento médio da condutividade hidráulica dos solos do estado de Goiás, observaram que um Latossolo apresentou alta condutividade hidráulica, apresentando valores médios, na superfície, de  $3,3 \times 10^{-5}$  m/s e em profundidade de  $4,0 \times 10^{-6}$  m/s.

### 3.12 Matéria orgânica

Em estado coloidal a matéria orgânica imprime ao solo, dependendo de sua proporção e atividade, propriedades físicas e características que determinam, em sua grande maioria, a aptidão para o desenvolvimento das plantas superiores. A presença da matéria orgânica provoca alterações nas características físicas do solo, modificando-lhe a cor, a textura, a estrutura, a capacidade de retenção de água e de coesão (VIEIRA, 1988).

A presença da matéria orgânica promove alterações benéficas nas propriedades do solo quando em teores adequados, contribuindo substancialmente para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A matéria orgânica exerce influência sobre as propriedades físicas, química, físico-químicas e biológicas do solo, revertendo tudo no aumento da produção (KIEHL, 1985; MALAVOLTA, GOMES & ALCARDE, 2002).

Dentre os efeitos da matéria orgânica sobre as propriedades físicas, podem ser elencados: redução da densidade, melhoria da estrutura, aeração e drenagem, aumento direto da capacidade do solo de reter água e alteração benéfica da sua consistência por meio da redução da tenacidade, da plasticidade e aderência (KIEHL, 1985).

### **3.13 Latossolos**

São solos minerais muito profundos (normalmente superiores a 2 m), bem a excessivamente drenados, bastante porosos e permeáveis. No horizonte B latossólico, os teores de argila permanecem constantes ao longo do perfil ou aumentam levemente sem, contudo, chegar a evidenciar um B textural (VIEIRA & SANTOS, 1987; CRAVO, VIEGAS & BRASIL, 2010).

Apresentam estágio avançado de intemperização e processo intenso de lixiviação, destituídos de minerais primários facilmente intemperizáveis, formados por uma mistura, em que predominam argilo-minerais 1:1, óxidos de ferro e/ou alumínio, além de quartzo e outros minerais silicatados resistentes ao intemperismo, de capacidade de troca de cátions (CTC) muito baixa (inferior a  $13 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de argila). Estes solos são desenvolvidos de material de origem retrabalhado, resultando, normalmente, em solos quimicamente pobres. As cores variam de brancas às vermelhas escuras, normalmente mais escuras no A, vivas no B e mais claras no C (VIEIRA & SANTOS, 1987; CRAVO, VIEGAS & BRASIL, 2010).

São os mais desenvolvidos (velhos) da crosta terrestre (RESENDE et al., 2007). Esta classe de solo é constituída de solos com composição de material mineral, com horizonte B latossólico. Esta ordem de solo tem grande importância por ocupar mais de 50% do território brasileiro (Anexo A). Trata-se de solos com avançado estágio de intemperismo, com baixa capacidade de troca de cátions, fato que não impede que sejam solos bastante produtivos quando bem manejados (OLIVEIRA, 2011).

No Pará, sua ocupação também tem grande importância, pois ocupam grandes extensões territoriais como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Distribuição aproximada das áreas das principais classes de solos mapeados no Estado do Pará.

Classes de solos	Área	
	km <sup>2</sup>	%
<b>LATOSSOLO AMARELO</b>		
Latossolo Amarelo distrófico, textura muito argilosa	32.351	2,64
Latossolo Amarelo distrófico, textura argilosa	102.788	8,37
Latossolo Amarelo distrófico, textura média	126.636	10,32
Latossolo Amarelo distrófico concrecionário, textura argilosa	1.260	0,10
<b>LATOSSOLO VERMELHO</b>		
Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa	1.270	0,10
<b>LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO</b>		
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura muito argilosa	33.140	2,70
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa	144.928	11,81
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média	65.010	5,30
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico concrecionário, textura argilosa	1.110	0,09

Fonte: Adaptado de Cravo, Viégas e Brasil (2010)

### 3.14 Manejo da irrigação

O manejo adequado da irrigação consiste em fornecer água ao solo no momento oportuno (quando) e na quantidade suficiente (quanto) para atender às necessidades hídricas da planta (MANTOVANI, BERNARDO & PALARETTI, 2009). Para isto é imprescindível conhecer o solo, mais especificamente, suas características físicas e hídricas, possibilitando um manejo mais adequado do solo e da irrigação (SANTOS et al., 2013)

Informações relativas à faixa de água disponível às plantas, porosidade e condutividade hidráulica, associadas a informações climáticas e de planta, permitem o planejamento e manejo da irrigação (SANTOS et al., 2013). Deve ser feita também a análise textural do solo, com a determinação dos teores de argila, areia e silte. A determinação da curva de retenção de água no solo e a densidade determinam a capacidade de armazenamento de água, importante para fins de projeto e manejo (MANTOVANI, ZINATO & SIMÃO, 2006).

Rodrigues, Nery & Albuquerque (2013) verificaram que a evapotranspiração de referência para o município de Castanhal varia, ao longo do ano, entre 4,3 e 5,8 mm dia<sup>-1</sup>. Esse parâmetro é de suma importância para manejo de irrigação localizada, sendo utilizado para estimar as lâminas líquidas e brutas diárias, ou o volume diário de água por planta, quando se trata de frutíferas como açaizeiro, ambiente estudado nesta pesquisa.

Para os sistemas pressurizados de irrigação é importante conhecer as características físico-hídricas do solo, notadamente a velocidade de infiltração básica (VIB) do solo, parâmetro utilizado como critério para seleção dos aspersores e definição da intensidade de precipitação, definida pela vazão dos aspersores e seus espaçamento em campo.

## **4 MATERIAL E MÉTODO**

### **4.1 Características da área de estudo**

#### **4.1.1 Localização da área**

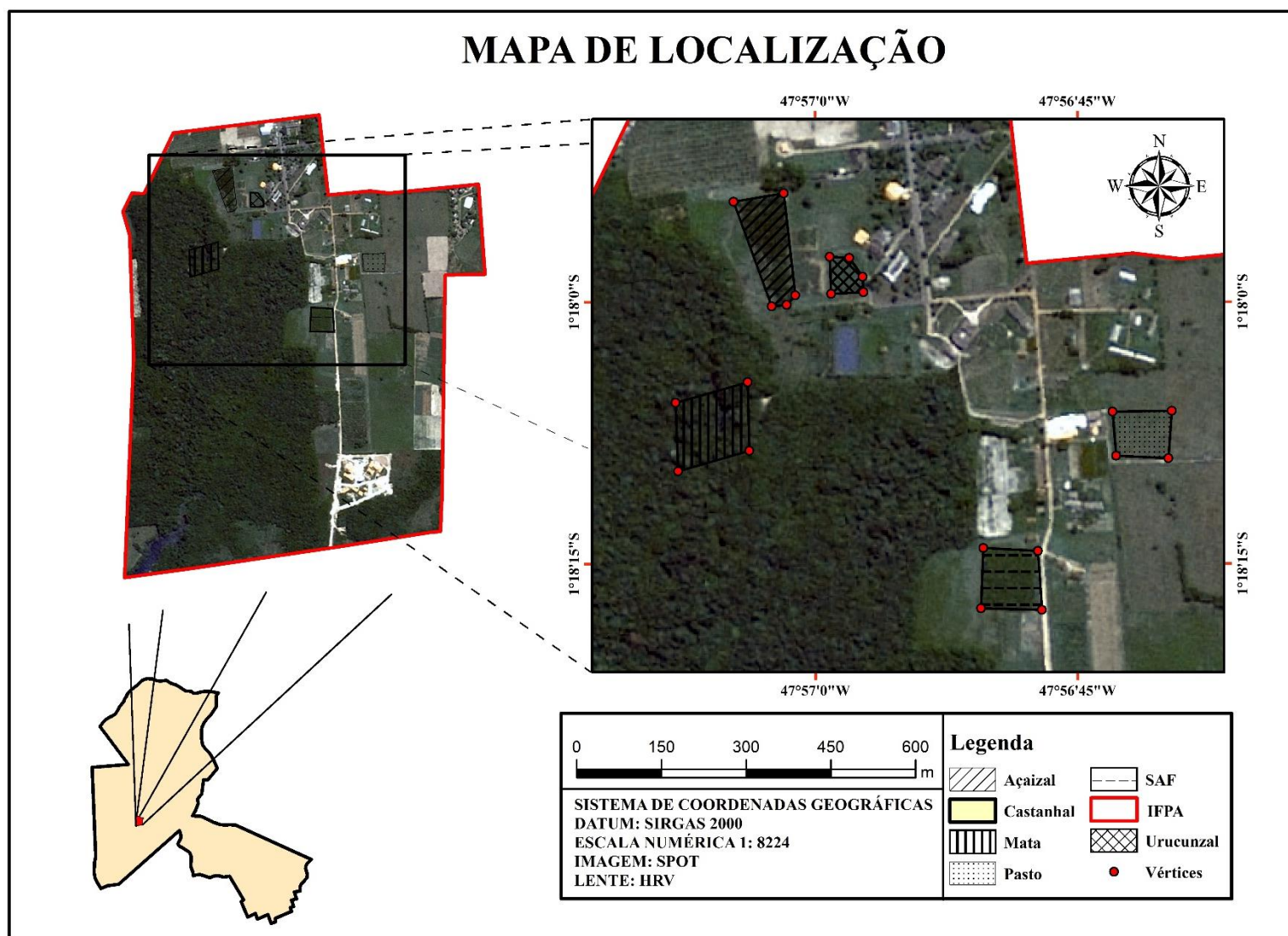
O clima da região é do tipo Afi, segundo classificação climática de Köppen, com médias de temperatura anual, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar, de 33 °C, 2.400 mm, e 90%, respectivamente. A estação mais chuvosa ocorre de dezembro a maio e, a menos chuvosa, de junho a novembro (SANTOS, SILVA & COSTA, 2006).

Esta pesquisa foi desenvolvida no período 2014/2015 na área do Instituto Federal do Pará - Campus Castanhal, situada à margem da BR 316, Km 63, nas proximidades do ponto com as coordenadas geográficas: 1° 17' 46" S e 47° 55' 28" W.

#### **4.1.2 Descrição das áreas de estudo**

O solo estudado (Figura 1) se encontra em uma área sob cinco formas de uso (Mata, Pasto, Urucunzal, Açaizal, Sistema Agroflorestal - SAF), onde foram feitas as amostragens dentro do perímetro de cada sistema. As amostras foram coletadas, aleatoriamente, em locais apropriados para o estudo de cada variável, com 3 repetições.

Figura 1 - Mapa de localização das áreas estudadas.



Elaboração: Emerson Lima Dias (2014).

Ferreira (2004), em estudos semelhantes de solos de quatro áreas sob diferentes formas de uso e ambiente de mata, definiu os solos do IFPA Castanhal com as características apresentadas no quadro 1.

Quadro 1 - Caracterização dos solos do IFPA Castanhal.

Descrição	Cultivos anuais	Cultivo perene	Sistema agroflorestal	Floresta secundária
Classificação	Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura média			
Situação, declive	Perfil de trincheira em declive de 4%		Perfil de trincheira em declive de 3%	
Cobertura vegetal	Cultura de feijão	Cultura do coco	SAF	Capoeira
Litologia	Arenito			
Pedregosidade	Não pedregoso			
Relevo local	Suave ondulado			Plano
Erosão	Laminar ligeira	Laminar ligeira	Laminar ligeira	Laminar ligeira
Vegetação primária	Floresta equatorial subperenifólia			
Formação Geológica	Formação Barreiras			
Material Originário	Sedimentos arenosos	Sedimentos areno-argilosos		
Relevo regional	Suave ondulado			
Drenagem	Bem drenado			

Fonte: adaptado de Ferreira (2004).

Em todos os agroecossistemas estudados se procedeu a retirada da vegetação usando-se lâmina frontal acoplada a trator agrícola, havendo a raspagem do solo com conseqüente retirada de parte da camada superficial durante a operação. A abertura das áreas ocorreu entre 1980-1985, não necessariamente sendo implantada inicialmente a cultura atualmente encontrada. A seguir, uma descrição das áreas estudadas:

**a) Mata** – compreende uma região de floresta secundária (capoeira) da qual foram exploradas as espécies de maior valor econômico durante a década de 1980 e também o corte para produção de carvão, sofrendo mínima antropização desde então (Figura 2).

Figura 2 - Área de estudo: Mata.



Fonte: Acervo próprio.

**b) Pasto** – A implantação do pasto foi feita no final da década de 1970 com a introdução, principalmente, da gramínea Quicuío (*Pennisetum clandestinum*). Em 2002, houve a troca para a espécie *Brachiaria brizantha*, após preparo de área com uso de grade e arado (Figura 3).

Atualmente o pasto é utilizado como parte da alimentação para gado de leite a partir de um pastejo rotacionado no total de 10 piquetes de 1 ha.

Figura 3 - Área de estudo: Pasto.



Fonte: Acervo próprio.

**c) Urucunzal** – O cultivo do urucum foi iniciado em 2006. Anteriormente, em 1997, foi implantado um abacaxizal que em seguida foi substituído por cultivo de banana chifre de boi para produção de farinha de banana no ano de 1999. Em 2005 na área foi cultivado feijão e arroz, porém, devido a erosão estar sendo agravada pela ação das chuvas intensas, foi optado pela implantação de cultura permanente sendo escolhida a do urucum (*Bixa orellana* L.)



(Figura 4). Na área foi feito o preparo convencional (grade e arado) anteriormente a entrada de cada cultura.

Atualmente observa-se a presença de Ipês Rosa (*Tabebuia impetiginosa*) que foram semeados pelo vento oriundos de arborização feita próxima ao plantio.

Figura 4 - Área de estudo: Urucunzal.



Fonte: Acervo próprio.

**d) Açaizal** – O açaizal foi implantado em 1995, porém o terreno foi aberto em 1985 no qual foram cultivadas hortaliças até a entrada do açaí. Em 2011 foi inserido o cacau (*Theobroma cacao*), atualmente as mesmas ocupam apenas uma parcela da área (Figura 5).

Figura 5 - Área de estudo: Açaizal.



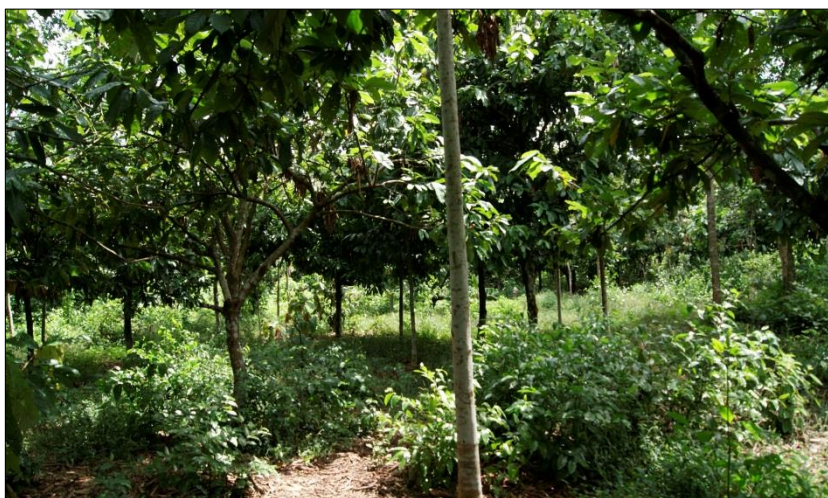
Fonte: Acervo próprio.

**e) Sistema agroflorestal** – O sistema agroflorestal é dividido em quatro parcelas, numa área de 1 ha, composto pelas espécies: cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum), andiroba (*Caraba guianensis* Aubl.), mogno brasileiro (*Swietenia*

*macrophylla* King.), palheteira (*Clitoria racemosa* Benth.), ipê-amarelo (*Tabebuia sp.*), acapú (*Vouacapoua americana* Aubl.), leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.), ingá (*Inga edulis* Mart.) e banana (*Musa spp.*).

A área foi aberta em 1985, desde então foram implantadas diversas culturas, em ordem cronológica: laranja, maracujá, mamão, banana e cupuaçu. Em 1997 a área foi utilizada para cultivo de feijão caupi e banana Missouri. Em 2001 foi implantada a cultura do cupuaçu e, em 2006, foram introduzidas as espécies florestais e leguminosas (Figura 6).

Figura 6 - Área de estudo: Sistema Agroflorestal.



Fonte: Acervo próprio.

Na área são realizadas roçagens com uso de trator e/ou roçadeiras costais, sendo atualmente uma atividade dispensável devido ao intenso sombreamento do solo. Durante o cultivo da banana foram realizadas adubações com esterco e fertilizante químico fosfatado, posteriormente sendo usada formulação de NPK com 200g por planta de 3 a 4 vezes ao ano. De 2001, após implantação do cupuaçu, até os dias atuais não foram mais realizadas adubações na área.

#### 4.2 Coleta das amostras

As amostras (Figura 7) para as análises físico-hídricas foram coletadas em 5 sistemas diferentes onde foram feitas as coletas de amostras deformadas em um caminhamento em zigue-zague dentro do perímetro de cada sistema conforme recomendações contidas em Azevedo (2000). Para cada sistema foram usados 5 pontos de coleta, sendo coletada uma amostra simples por ponto (para formação de amostra composta) em 2 profundidades (0-20cm e 20-40cm), totalizando 5 amostras por sistema/profundidade. Estas foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm (Terra Fina Seca ao Ar – TFSA), embaladas e classificadas.

Figura 7 - Coleta das amostras deformadas e indeformadas de solos para análises físico-hídricas.



Fonte: Acervo próprio.

As amostras indeformadas foram coletadas com auxílio de trado e cilindro de aço, tipo Kopecky, com volume conhecido (98,175 cm<sup>3</sup>). Foram usados 3 pontos de coleta, sendo coletada de cada ponto uma amostra por profundidade (0-20cm e 20-40cm) dentro do perímetro de cada sistema a partir de um caminhar em zigue-zague (AZEVEDO, 2000), totalizando 6 amostras por sistema.

### 4.3 Teor de matéria orgânica

A matéria orgânica (resultados apresentados na Tabela 3) foi determinada pelo Laboratório Terra - Análises para Agropecuária LTDA, Goiânia – GO usando-se amostras deformadas oriundas de 10 pontos de coleta de cada sistema pelo método descrito por Silva et al. (1998), a partir do método volumétrico de dicromato de potássio. O carbono da amostra é oxidado a CO<sub>2</sub> e o cromo (Cr) da solução extratora é reduzido da valência +6 (Cr<sup>+6</sup>) à valência +3 (Cr<sup>+3</sup>). A titulação do excesso de dicromato de potássio é feita a partir do sulfato ferroso amoniacal.

### 4.4 Características físico-hídricas do solo avaliadas

#### 4.4.1 Composição granulométrica (textura do solo)

A composição granulométrica do solo (resultados apresentados na Tabela 3) foi determinada pelo Laboratório Terra - Análises para Agropecuária LTDA, Goiânia – GO a partir do método do Densímetro, conhecido também como método de Bouyoucos ou método do hidrômetro, proposto em 1926 (BOUYOUCOS, 1926).

Tabela 3 - Valores médios da Matéria Orgânica do Solo (MOS) e da Granulometria.

Profundidades (cm)	Forma de uso	MOS	Argila	Silte	Areia	Textura
			(dag kg <sup>-1</sup> )			
0 – 20	Pasto	0,5	20	9	71	Franco Arenosa
	Urucunzal	0,9	8	3	89	Arenosa
	Açaizal	1,0	6	2	92	Arenosa
	SAF	1,6	12	7	81	Areia Franca
	Mata	2,3	12	7	81	Areia Franca
20 – 40	Pasto	0,7	20	11	69	Franco Arenosa
	Urucunzal	0,7	20	9	71	Franco Arenosa
	Açaizal	0,5	17	9	74	Franco Arenosa
	SAF	1,2	8	3	89	Arenosa
	Mata	0,5	6	2	92	Arenosa

Fonte: Laboratório Terra - Análises para Agropecuária LTDA, Goiânia – GO.

#### 4.4.2 Densidade do solo

Para determinação da densidade foi utilizado o método do anel volumétrico descrito por Donagema et al. (2011) onde foram utilizadas amostras indeformadas (Figura 8) com volume de 98,175 cm<sup>3</sup> referente ao volume do anel de Kopecky. As amostras foram submetidas à secagem em estufa por 48 horas à temperatura de 105 °C ~ 110 °C. A densidade de cada amostra foi calculada por meio da seguinte equação:

$$ds = \frac{Ms}{V} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

$ds$  = densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>)

$Ms$  = massa da amostra seca a 105 °C (g)

$V$  = Volume da amostra (cm<sup>3</sup>)

Foram retiradas 3 amostras de pontos aleatórios, em 2 profundidades para cada sistema totalizando 6 amostras por sistema, em seguida foram calculadas as médias por profundidade de cada sistema.



Figura 8 - Amostra indeformada para determinação da densidade do solo.



Fonte: Acervo próprio.

#### 4.4.3 Densidade de partículas

A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico (Figura 9) descrito por Donagema et al. (2011). Para cada sistema foram utilizadas 3 amostras deformadas, referentes a cada profundidade estudada. As amostras foram colocadas em latas de alumínio de massa conhecida e levadas à estufa a 105 °C por 12 horas. Posteriormente foram dessecadas e pesadas para obtenção da massa da amostra seca.

Figura 9 - Método do balão volumétrico para determinação da densidade de partículas do solo.



Fonte: Acervo próprio.

Em seguida foram transferidos 20 g TFSE (Terra Fina Seca em Estufa) para balão volumétrico aferido de 50 mL. Foram adicionados 50 mL de álcool etílico 98 °GL à bureta, realizou-se a transferência de álcool para o balão, agitando para eliminação de bolhas de ar até

completar o volume do balão. O volume de álcool consumido (leitura da bureta) foi anotado para determinação da densidade de partículas na seguinte equação:

$$dp = \left( \frac{Ms}{50 - V} \right) \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

$dp$  = densidade de partículas ( $\text{g cm}^{-3}$ )

$Ms$  = massa da amostra seca a  $105^\circ\text{C}$  (g)

$V$  = volume de álcool gasto ( $\text{cm}^3$ )

#### 4.4.4 Porosidade total

A determinação do volume percentual de poros totais do solo ocupado por água e/ou ar foi determinado pela equação a seguir, descrita por Donagema et al. (2011) e Libardi (2005):

$$\alpha = \left( \frac{dp - ds}{dp} \right) \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

$\alpha$  = porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

$dp$  = densidade de partículas ( $\text{g cm}^{-3}$ )

$ds$  = densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )

#### 4.4.5 Microporosidade

A microporosidade foi determinada a partir do método descrito por Donagema et al. (2011) onde utilizaram-se amostras com potencial de -0,1 bar no extrator de Richards, potencial matricial correspondente à capacidade de campo (BERNARDO, SOARES & MANTOVANI, 2008), no qual ocorre a retirada de água dos macroporos (poros com  $\varnothing \geq 0,05 \text{ mm}$ ).

Calculou-se a microporosidade pela equação 4:

$$m = \left( \frac{M_1 - M_2}{M_2} \right) \times ds \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:

$m$  = microporosidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

$M_1$  = massa da amostra após ser submetida à tensão de capacidade de campo (g)

$M_2$  = massa da amostra seca a  $105^\circ\text{C}$  (g)

$ds$  = densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )

#### 4.4.6 Macroporosidade

A determinação dos macroporos correspondente ao volume de poros com  $\varnothing \geq 0,05$  mm foi a partir da seguinte equação descrita por Donagema et al. (2011):

$$M = \alpha - m \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que:

$M$  = macroporosidade ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )

$\alpha$  = porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )

$m$  = microporosidade ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )

#### 4.4.7 Capacidade de campo pelo método direto

Baseando-se no método descrito por Bernardo, Soares & Mantovani (2008) em cada sistema foram construídos 3 diques de terra, cada um com área total de 4 m<sup>2</sup> e área central para retenção de água com 1 m<sup>2</sup> (Figura 10). A localização dos diques foi feita obedecendo um caminhamento na transversal dentro do perímetro de cada sistema. Cada dique recebeu volume de água necessário para que o solo atingisse estado de saturação hídrica em toda a camada estudada (0-40 cm), posteriormente o mesmo foi coberto com lona plástica por 48 horas. Após este período foram retiradas 3 amostras indeformadas com uso de anel volumétrico em cada profundidade em cada dique.

Figura 10 - Construção de diques para determinação da capacidade de campo pelo método direto.



Fonte: Acervo próprio.

As amostras foram levadas ao laboratório, pesadas para obtenção da massa úmida e colocadas em estufas a 105 °C por 48 horas, posteriormente foram pesadas para obtenção da massa seca da amostra. A quantidade de água referente à capacidade de campo foi

determinada pelo método padrão da estufa (Eq. 6) no laboratório de solos do IFPA Castanhal (CLAESSEN et al., 1997). Considerando-se a densidade da água  $1 \text{ g cm}^{-3}$ , tem-se:

$$CC(\theta) = \frac{(msu - mss)}{V} \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que:

$CC$  = capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )

$msu$  = massa de solo úmida (g)

$mss$  = massa de solo seca (g)

$V$  = volume do cilindro coletor ( $98,175 \text{ cm}^3$ )

#### 4.4.8 Capacidade de campo pelo método de laboratório

A capacidade de campo foi definida em laboratório com uso do extrator de Richards. As amostras com potencial de  $-0,1 \text{ bar}$  apresentam, segundo Bernardo, Soares & Mantovani (2008), o teor de umidade respectivo à capacidade de campo em solos com textura grossa. A umidade foi determinada pelo método padrão da estufa (Eq. 7) no laboratório de solos do IFPA Castanhal.

$$CC(\theta) = \left[ \frac{(msu - mss)}{mss} \right] \times ds \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que:

$CC$  = capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )

$msu$  = massa de solo úmida (g)

$mss$  = massa de solo seca (g)

$ds$  = densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )

#### 4.4.9 Ponto de murchamento permanente pelo método de laboratório

Para a determinação do ponto de murchamento permanente as amostras foram submetidas à pressão de  $15 \text{ bar}$  em extrator de Richards, pressão a qual a umidade remanescente representa o teor de umidade respectivo ao ponto de murchamento permanente do solo (REICHARDT, 1988). Igualmente à  $CC$ , a umidade foi determinada pelo método padrão da estufa no laboratório de solos do IFPA Castanhal.

#### 4.4.10 Água disponível

Os valores de água disponível foram calculados pela diferença entre os valores de  $CC$  ( $-1 \text{ bar}$ ) e  $PMP$  ( $-15 \text{ bar}$ ) determinados pelo método de laboratório (Eq. 8).



$$AD = CC - PMP \quad (\text{Eq. 8})$$

Em que:

$AD$  = água disponível ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

$CC$  = capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

$PMP$  = ponto de murchamento permanente ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

#### 4.4.11 Curva característica de retenção de água

A curva de retenção foi determinada pelo método descrito por Donagema et al. (2011). As amostras deformadas foram colocadas em anéis de PVC com 2 cm de altura e 5 cm de diâmetro. As amostras de cada sistema foram separadas em grupos respectivos a cada potencial matricial a ser observado totalizando 3 repetições por potencial para cada profundidade estudada. Os potenciais observados foram de -0,1; -0,3; -1,0; -3,0; -5,0; -10,0 e -15,0 bar, totalizando 42 unidades experimentais para cada sistema (2 profundidades x 7 potenciais x 3 repetições).

As amostras, e as respectivas placas de cerâmica de cada tensão, foram previamente saturadas com água até que o nível ficasse bem próximo da borda do anel, com imersão das placas, num período de 48 horas. Posteriormente foram colocadas nos extratores de Richards (Figura 11), onde foram sequencialmente submetidas às pressões para extração do excedente de água até o ponto de equilíbrio. As amostras respectivas à tensão submetida foram retiradas, pesadas e levadas para estufa a 105 °C por um período de 48 horas, em seguida foram novamente pesadas para cálculo da umidade remanescente (CLAESSEN et al., 1997).

Figura 11 - Uso de amostras deformadas no método de Richards para determinação da curva característica de retenção de água.



Fonte: Acervo próprio.

Os dados foram tabulados em planilhas eletrônicas do EXCEL. No Anexo B consta modelo da planilha.

Após a obtenção das curvas de retenção de água no solo, estas foram ajustadas utilizando-se o modelo matemático proposto por van Genuchten (1980) com auxílio do Software SWRC (DOURADO NETO et al., 2001):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^m} \quad (\text{Eq. 9})$$

Em que:

$\theta$  = Umidade atual do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

$\theta_r$  = Umidade residual do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

$\theta_s$  = Umidade do solo na saturação ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

$h$  = potencial matricial (cm ou hPa)

$\alpha$  e  $n$  = parâmetros de ajuste do modelo (adimensional)

$m = 1 - 1/n$ .

#### 4.5 Análise estatística

Para fins de análise estatística (ANOVA) das variáveis foi adotado um arranjo ou esquema fatorial 5x2 sendo 5 áreas (SAF, Pasto, Urucunzal, Açaizal e Mata) e 2 profundidades (0-20 e 20-40 cm) com 3 repetições, perfazendo 30 parcelas. Para a capacidade de campo considerou-se um fator extra, ou seja, 2 métodos utilizados, ficando em esquema fatorial 5x2x2 (5 áreas, 2 profundidades e 2 métodos).

A comparação de médias foi efetuada pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Utilizou-se o programa SISVAR para realização das análises estatísticas (FERREIRA, 2003).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Densidade do solo e densidade de partículas

O resumo das análises estatísticas das variáveis densidade do solo (ds) e densidade de partículas (dp) está apresentado na Tabela 4. Para a densidade global do solo observa-se que houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade para os fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (P) bem como para interação SxP.

A interação significativa pode ser explicada pelas diferenças significativas entre sistemas dentro de cada profundidade assim como pelas diferenças significativas entre profundidades dentro de cada sistema (Tabela 5).

De acordo com a Tabela 4, em termos médios, para a densidade do solo, foi verificada a seguinte ordem: Pasto  $\cong$  Urucunzal > SAF > Açaizal > Mata, oscilando entre 1,70 e 1,38 g cm<sup>-3</sup>. A densidade média final da camada 0-20 cm (1,51 g cm<sup>-3</sup>) diferiu significativamente da densidade da camada de 20-40 cm (1,66 g cm<sup>-3</sup>).

Pela Tabela 5, os maiores valores de densidade do solo foram observados no sistema Pasto, sendo 1,68 e 1,72 g cm<sup>-3</sup> para as camadas 0-20 cm e 20-40 cm, respectivamente, sem haver diferença entre as camadas enquanto o sistema Mata apresentou os menores valores, 1,22 g cm<sup>-3</sup> (0-20 cm) e 1,55 g cm<sup>-3</sup> (20-40 cm), sendo esta significativamente maior. À exceção do sistema Pasto, esse fato foi observado em todos os sistemas; ou seja, a densidade aumentou com a profundidade.

Trata-se de um resultado que representa o comportamento natural esperado, pois segundo Cavenage et al. (1999) a densidade do solo em condições naturais se eleva com a profundidade do solo, considerando a diminuição do teor de matéria orgânica e o peso das camadas de solo sobrejacentes. Em estudos com Latossolos Amarelos na Amazônia, Corrêa (1985) observou resultados semelhantes em que solos que sofreram preparo de solo (convencional, direto ou rotavator) apresentaram densidade semelhante em solo sob floresta na camada de 20-40 cm.

As maiores densidades observadas no sistema de pastagem, na profundidade de 0-20 cm, podem ser atribuídas à compactação causada pelos bovinos. Albuquerque (2001), Dias (2012) e Corrêa & Reichardt (1995) observaram que a densidade e a macroporosidade de solo sob pastagem são afetados negativamente pelo pisoteio animal, sendo uma das principais

causas da degradação de áreas de pastagem, pois aumentam a compactação dificultando o crescimento radicular e a oxigenação do solo.

Jakelaitis et al. (2008) observaram aumento significativo da densidade global, assim como redução da porosidade total, quando a vegetação natural foi substituída por pastagens. Muller et al. (2001) também observaram que a densidade global é menor em solo sob floresta do que em solo cultivado com pastagem, assim como maior grau de compactação em camadas mais profundas em consequência da diminuição da matéria orgânica e maiores teores de argila na profundidade de 5-25 cm do solo.

Tabela 4 - Resumo da análise da variância e médias para as variáveis Densidade do solo (ds) e Densidade de partículas (dp), em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (P).

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio (Variância)	
		ds (g cm <sup>-3</sup> )	dp (g cm <sup>-3</sup> )
Sistema (S)	4	0,0953**	0,0126*
Prof. (P)	1	0,1748**	0,0023 <sup>NS</sup>
Interação (SxP)	4	0,0194**	0,0130*
Resíduo	20	0,0020	0,0036
CV(%)	-	2,80	2,30
Sistema (S)		Médias	
		ds (g cm <sup>-3</sup> )	dp (g cm <sup>-3</sup> )
Açaizal		1,5492 c	2,6162 a
Mata		1,3853 d	2,5292 b
Pasto		1,7025 a	2,6445 a
SAF		1,6267 b	2,6168 a
Urucunzal		1,6677 a	2,5693 b
Profundidade (P)		Médias	
		ds (g cm <sup>-3</sup> )	dp (g cm <sup>-3</sup> )
0-20 cm		1,5099 b	2,6039 a
20-40 cm		1,6626 a	2,5865 a

Médias seguidas por diferentes letras diferem entre si, ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott.

<sup>NS</sup> = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

\*, \*\* = significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 5 - Desdobramento das médias das variáveis Densidade do solo e Densidade de partículas em função dos fatores estudados, Sistema e Profundidade.

Sistema	Profundidade	
	0-20 cm	20-40 cm
	Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> )	
Açaizal	1,4533 c B	1,6450 a A
Mata	1,2193 d B	1,5513 b A
Pasto	1,6813 a A	1,7237 a A
SAF	1,5743 b B	1,6790 a A
Urucunzal	1,6213 b B	1,7140 a A
Densidade de partículas (g cm <sup>-3</sup> )		
Açaizal	2,6060 a A	2,6263 a A
Mata	2,5673 b A	2,4910 b A
Pasto	2,6807 a A	2,6083 a A
SAF	2,6613 a A	2,5723 a A
Urucunzal	2,5043 b B	2,6343 a A

Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na coluna (sistemas) e por diferentes letras maiúsculas na linha (profundidade) diferem entre si, ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott.

Os solos estudados apresentaram valores de densidade próximos aos reportados por Kiehl (1985) para solos com textura arenosa ( $1,4$  a  $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ ), notadamente em P1 (0-20 cm), porém, o sistema Mata, por razões já discutidas, apresentou valor inferior ( $1,22 \text{ g cm}^{-3}$ ).

O Sistema Pasto tem densidade muito próxima de  $1,70 \text{ g cm}^{-3}$ . Kiehl (1985) relata que solos com densidades elevadas, entre  $1,70$  a  $1,90 \text{ g cm}^{-3}$ , inibem a emergência das sementes e dificultam a penetração das raízes. Portanto, entre os solos pesquisados, o ambiente de pasto pode inibir a emergência de sementes, dado o grau de compactação da camada superficial.

De acordo com a Tabela 3, o baixo teor de matéria orgânica no sistema pasto ( $0,50$  e  $0,70 \text{ dag kg}^{-3}$ ) pode explicar a maior densidade do solo no sistema ( $1,72 \text{ g cm}^{-3}$ ), ao contrário do sistema Mata que apresenta teor maior em 0-20 cm ( $2,30 \text{ dag kg}^{-3}$ ), mesmo não tendo teores consideráveis na profundidade de 20-40 cm ( $0,50 \text{ dag kg}^{-3}$ ).

Também deve ser considerado um diferencial quanto a ação antrópica nestes sistemas, considerando que o trânsito de maquinário e pisoteio constante de animais sobre o solo do Pasto aumenta os valores de densidade, enquanto a Mata tem relativamente menos influência de ação antrópica, semelhante ao ambiente natural, sem fatores que agravem consideravelmente o grau de compactação do solo.

Ferreira (2004), em estudos sobre a densidade em solos da EAF Castanhal (hoje IFPA Castanhal) sob diferentes formas de uso, também observou valores menores para densidade nas áreas de Mata e de SAF em relação às áreas de cultivos anuais (arroz, caupi, milho e mandioca) quando considerado somente a camada de 0-20 cm. Assim como também observou que na camada de 20-40 cm das áreas cultivadas, o solo apresenta uma compactação (densidade em torno de  $1,7 \text{ g cm}^{-3}$ ), semelhante aos valores encontrados para os sistemas de cultivo estudados nesta camada.

No tocante à densidade de partículas (Tabela 4), foi observada a seguinte ordem: Pasto  $\cong$  SAF  $\cong$  Açaizal  $>$  Urucunzal  $\cong$  Mata. Em se tratando de média geral, verificou-se ausência de diferença significativa, sendo  $2,60$  e  $2,59 \text{ g cm}^{-3}$  para as camadas 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. Portanto não se observou diferença significativa entre as profundidades, exceto para o sistema Urucunzal em que, conforme Tabela 5, a dp na profundidade de 20-40 cm foi significativamente maior. Em P1 (0-20 cm), os sistemas Urucunzal (dp =  $2,50 \text{ g cm}^{-3}$ ) e Mata (dp =  $2,57 \text{ g cm}^{-3}$ ) tiveram as menores densidades de partículas, sendo que o sistema

Mata também apresentou-se com menor valor na profundidade de 20-40 cm, diferindo dos demais sistemas.

## 5.2 Porosidade

A porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo, apresentaram diferença significativa entre os sistemas e as profundidades estudadas. Além de ser observada em todas as variáveis a interação significativa entre sistema e profundidade (Tabela 6).

Pela Tabela 7, para a variável porosidade total ( $\alpha$ ) observaram-se valores na ordem Mata > Açaizal > SAF > Urucunzal  $\cong$  Pasto, obedecendo a uma ordem inversa aos valores de densidade do solo (Tabela 5). De acordo com a Tabela 7, os valores máximos foram encontrados no sistema Mata na camada de 0-20 cm ( $0,53 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) e na camada de 20-40 cm ( $0,38 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), porém nessa camada não se verificou diferença significativa entre os Sistemas. Nota-se diferença significativa entre os sistemas na camada de 0-20 cm, estando os sistemas Pasto ( $0,37 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) e Urucunzal ( $0,35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) com os menores valores sem apresentar diferença significativa entre si.

Pela Tabela 7, quanto ao fator profundidade só não foi detectada diferença significativa no Sistema Urucunzal. Nos demais sistemas a Porosidade total diminui com a profundidade.

A microporosidade do 'Pasto', cerca de  $0,044 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  (Tabela 6) foi significativamente maior em relação aos demais sistemas, porém, com o desdobramento (Tabela 7), na camada superficial, tanto o Pasto ( $0,047 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) como o sistema SAF ( $0,046 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) foram significativamente maiores em relação aos demais sistemas. Infere-se que esses dois sistemas têm maior microporosidade na camada de 0-20 cm.

Quanto à microporosidade, notam-se valores condizentes ao comportamento da densidade global. Tendo a área de pasto com valores superiores de densidade (Tabelas 4 e 5) e, conseqüentemente, maiores valores de microporosidade. Muller et al. (2001), Dias (2012) e Souza et al. (2013) observaram resultados semelhantes em solos sob pastagens e café, afirmando tratar-se de uma compensação que ocorre devido a diminuição da porosidade total, transformando poros grandes em pequenos, com tendência a aumentar a água retida pelo solo.

De acordo com a Tabela 6, onde constam as médias gerais, ou seja, envolvendo as duas profundidades, o sistema mata teve maior macroporosidade ( $0,41 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ). Já na Tabela 7, esse efeito só é verificado na camada superficial ( $0,49 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), significativamente maior

que os demais sistemas. Os sistemas Pasto e Urucunzal, na camada de 0-20 cm, apresentaram os menores valores (0,33 e 0,31 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>, respectivamente), enquanto em 20-40 cm não houve diferença significativa entre os sistemas observados.

Ainda de acordo com a Tabela 7, os sistemas Mata, Açaizal e SAF tiveram maior macroporosidade na camada de 0-20 cm, comparada à camada de 20-40 cm.

Tabela 6 - Resumo da análise da variância e médias para as variáveis Porosidade Total ( $\alpha$ ), Microporosidade e Macroporosidade, em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (P).

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio (Variância)		
		Porosidade total (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	Microporosidade (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	Macroporosidade (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
Sistema (S)	4	0,0103**	0,00004**	0,0113**
Prof. (P)	1	0,0296**	0,00010**	0,0264**
Interação (SxP)	4	0,0045**	0,00005**	0,0047**
Resíduo	20	0,0004	0,00001	0,0004
CV(%)	-	5,00	8,86	5,78

Sistema (S)	Médias		
	Porosidade total (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	Microporosidade (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	Macroporosidade (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
Açaizal	0,4077 b	0,0391 b	0,3687 b
Mata	0,4507 a	0,0367 b	0,4142 a
Pasto	0,3558 d	0,0439 a	0,3121 d
SAF	0,3777 c	0,0402 b	0,3376 c
Urucunzal	0,3507 d	0,0393 b	0,3116 d

Profundidade (P)	Médias		
	Porosidade total (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	Microporosidade (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	Macroporosidade (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
0-20 cm	0,4199 a	0,0416 a	0,3785 a
20-40 cm	0,3571 b	0,0380 b	0,3191 b

Médias seguidas por diferentes letras diferem entre si, ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott.

Ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

\*, \*\* = significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Observou-se diminuição da porosidade total com o aumento da profundidade do solo em todas as formas de uso estudadas, representando um comportamento inverso aos valores de densidade com o aumento da profundidade do solo. Anjos et al. (1994) verificaram que os valores de porosidade total estiveram inversamente associados aos de densidade do solo, ou seja, quanto menor a densidade do solo, maior a porosidade total, estando de acordo com os resultados encontrados neste trabalho.

Tabela 7 - Desdobramento das médias das variáveis Porosidade Total, Microporosidade e Macroporosidade do solo em função dos fatores estudados, Sistema e Profundidade.

Sistema	Profundidade	
	0-20 cm	20-40 cm
	Porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	
Açaizal	0,4420 b A	0,3733 a B
Mata	0,5250 a A	0,3763 a B
Pasto	0,3727 d A	0,3390 a B
SAF	0,4080 c A	0,3473 a B
Urucunzal	0,3520 d A	0,3493 a A
	Microporosidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	
	0-20 cm	20-40 cm
	Macroporosidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	
Açaizal	0,0409 b A	0,0372 a A
Mata	0,0358 b A	0,0375 a A
Pasto	0,0473 a A	0,0404 a B
SAF	0,0457 a A	0,0347 a B
Urucunzal	0,0384 b A	0,0401 a A
	Macroporosidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	
	0-20 cm	20-40 cm
	Macroporosidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	
Açaizal	0,4013 b A	0,3360 a B
Mata	0,4892 a A	0,3391 a B
Pasto	0,3255 d A	0,2987 a A
SAF	0,3624 c A	0,3126 a B
Urucunzal	0,3140 d A	0,3092 a A

Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na coluna (sistemas) e por diferentes letras maiúsculas na linha (profundidade) diferem entre si, ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott.

### 5.3 Retenção de umidade (CC, PMP e AD)

De acordo com o resumo contido na Tabela 8, houve efeito altamente significativo ( $P < 0,01$ ) das variáveis Capacidade de campo (CC), Ponto de murchamento permanente (PMP) e Água disponível (AD) para as fontes Sistemas (S), Profundidade (P) e Interação SxP, com exceção para CC em que não houve efeito significativo ( $P > 0,05$ ), dentro do fator Profundidade.



Tabela 8 - Resumo da análise da variância e médias para as variáveis Capacidade de Campo (CC), Ponto de Murchamento Permanente (PMP) e Água Disponível (AD), em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (P).

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio (Variância)		
		CC (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	PMP (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	AD (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
Sistema (S)	4	0,0063**	0,0048**	0,0150**
Prof. (P)	1	0,0003 <sup>NS</sup>	0,0017**	0,0033**
Interação (SxP)	4	0,0024**	0,0002**	0,0018**
Resíduo	20	0,0002	0,000006	0,0002
CV(%)	-	5,11	2,14	8,55

Sistema (S)	Médias		
	CC (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	PMP (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	AD (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
Açaizal	0,3124 a	0,1019 d	0,2105 a
Mata	0,2560 c	0,1519 a	0,1041 c
Pasto	0,2876 b	0,0730 e	0,2146 a
SAF	0,2431 c	0,1088 c	0,1343 b
Urucunzal	0,3150 a	0,1164 b	0,2146 a

Profundidade (P)	Médias		
	CC (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	PMP (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	AD (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
0-20 cm	0,2859 a	0,1029 b	0,1829 a
20-40 cm	0,2797 a	0,1178 a	0,1618 b

Médias seguidas por diferentes letras diferem entre si, ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott. <sup>NS</sup> = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. \*, \*\* = significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 9 - Desdobramento das médias das variáveis Capacidade de Campo, Ponto de Murchamento Permanente e Água Disponível do solo em função dos fatores estudados, Sistema e Profundidade.

Sistema	Profundidade	
	0-20 cm	20-40 cm
	Capacidade de Campo (cm³ cm⁻³)	
Açaizal	0,3368 a A	0,2879 a B
Mata	0,2275 c B	0,2845 a A
Pasto	0,2992 b A	0,2759 a A
SAF	0,2424 c A	0,2438 b A
Urucunzal	0,3238 a A	0,3063 a A
Ponto de Murchamento Permanente (cm³ cm⁻³)		
Açaizal	0,0920 d B	0,1116 c A
Mata	0,1378 a B	0,1660 a A
Pasto	0,0689 e B	0,0771 d A
SAF	0,0990 c B	0,1187 b A
Urucunzal	0,1171 b A	0,1157 b A
Água Disponível (cm³ cm⁻³)		
Açaizal	0,2448 a A	0,1762 a B
Mata	0,0897 d B	0,1185 b A
Pasto	0,2303 a A	0,1988 a B
SAF	0,1434 c A	0,1251 b A
Urucunzal	0,2067 b A	0,1905 a A

Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na coluna (sistemas) e por diferentes letras maiúsculas na linha (profundidade) diferem entre si, ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott.

### 5.3.1 Capacidade de campo

Em termos de média geral (Tabela 8), os sistemas Açaizal e Urucunzal tiveram maior CC (acima de 31%, em base volumétrica) enquanto os sistemas Mata e SAF tiveram menores retenções hídrica. Pela Tabela 9, percebe-se o mesmo resultado na camada de 0-20 cm, o que não é percebido na camada de 20-40 cm. Isso denota que os efeitos da camada arável são preponderantes sobre a CC. Na camada de 20-40 cm o sistema SAF teve menor capacidade de campo.

Observa-se efeito altamente significativo sobre a CC nos fatores Sistema e Método, assim como interação entre os mesmos. Não sendo observada diferença significativa entre as profundidades estudadas (Tabela 10).

Conforme a Tabela 10 verifica-se que houve efeito altamente significativo entre os dois métodos de determinação de CC, constatado na Tabela 11, em que a CC determinada em Laboratório ( $0,28 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) foi significativamente maior que a CC determinada diretamente no Campo ( $0,26 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ). Ainda pela Tabela 11, percebe-se que dentro do método Direto (campo) a CC não diferiu entre os Sistemas enquanto que em Laboratório foi observada a seguinte ordem  $\text{Urucunzal} \cong \text{Açaizal} > \text{Pasto} > \text{Mata} \cong \text{SAF}$ . Como a CC, em laboratório, foi determinada com potencial de -0,1 bar, é bem provável que, sob o potencial de -0,2 bar resulte em efeitos não significativos. Sendo assim um aumento substancial na tensão aplicada (provavelmente para -0,2 bar) representaria a capacidade de campo apropriada para o solo estudado, proporcionando a drenagem adequada dos macroporos, não havendo diferença significativa entre os métodos na determinação da capacidade de campo.

Tabela 10 - Resumo da análise da variância e médias para as variáveis Capacidade de Campo (CC), em função dos fatores estudados, Sistema (S), Profundidade (P) e Método (M).

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio (Variância)
		CC ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )
Sistema (S)	4	0,0047**
Método (M)	1	0,0059**
Prof. (P)	1	0,0015 <sup>NS</sup>
Interação (SxM)	4	0,0021**
Resíduo	49	0,0004
CV(%)	-	7,62

<sup>NS</sup> = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

\*, \*\* = significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 11 - Desdobramento das médias da variável Capacidade de Campo do solo em função dos fatores estudados, Sistema e Método.

Sistema	Método	
	Campo	Laboratório
	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	
Mata	0,2543 a A	0,2560 c A
Pasto	0,2573 a B	0,2876 b A
SAF	0,2595 a A	0,2431 c A
Açaizal	0,2711 a B	0,3124 a A
Urucunzal	0,2721 a B	0,3150 a A
Média	0,2628 B	0,2828 A

Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na coluna (sistemas) e por diferentes letras maiúsculas na linha (método e profundidade) diferem entre si, ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott.

Klein, Reichert & Reinert (2006) indicam que devido as diversas forças envolvidas na dinâmica de retenção de água, a tensão com que os macroporos são drenados não é similar para todos os solos.

### 5.3.2 Ponto de murchamento permanente

Conforme a Tabela 8 observa-se que a Mata apresentou o maior PMP (0,15 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) enquanto o Pasto apresentou o menor (0,073 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) dentre os sistemas estudados, obedecendo a seguinte ordem Mata > Urucunzal > SAF > Açaizal > Pasto. Também observa-se este comportamento na tabela 9, em que a Mata e Pasto apresentam os maiores e menores PMPs, consecutivamente. Com exceção do sistema Urucunzal, a camada de 20-40 cm apresentou maior retenção hídrica. Quanto ao fator Profundidade, nota-se que, em termos gerais (Tabela 8), a camada de 20-40 cm (PMP = 0,12 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) apresentou 20% a mais de retenção hídrica, comparada à camada de 0-20 cm (PMP = 0,10 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>).

Salienta-se que o trabalho foi realizado até a profundidade de 40 cm de solo a qual não representa a profundidade efetiva das raízes da flora natural do sistema Mata.

Moline et al. (2013a) concluíram que o ponto de murchamento permanente no tomateiro ocorreu aos quatro dias no solo de textura arenosa e aos cinco dias no solo de textura argilosa. Os autores observaram que o solo de textura arenosa apresentou menor ponto de murchamento permanente ( $\cong 0,11 \text{ g g}^{-1}$ ) em comparação com o solo argiloso ( $\cong 0,18 \text{ g g}^{-1}$ ).

### 5.3.3 Água disponível

É observado na Tabela 8 que os agroecossistemas Açaizal, Urucunzal e Pasto apresentam a mesma água disponível (0,21 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) sendo significativamente maior que SAF (0,13 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) e Mata (0,10 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) em ambas as camadas estudadas. Assim como a

camada de 0-20 cm ( $0,18 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) apresenta água disponível significativamente maior do que 20-40 cm ( $0,16 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ). Pela Tabela 9, ao se comparar as duas profundidades, é observado que Açaizal e Pasto apresentam maior água disponível na camada de 0-20 cm, enquanto que a Mata apresenta maior retenção na camada de 20-40 cm, ficando Urucunzal e SAF sem diferença significativa entre camadas.

Mesmo havendo maior concentração de matéria orgânica na Mata a 0-20 cm ( $2,3 \text{ dag kg}^{-1}$ , Tabela 3) e sendo o sistema que apresentou menor Densidade do solo ( $1,39 \text{ g cm}^{-3}$ , Tabela 4) e maior Porosidade total ( $0,45 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , Tabela 6), esse ambiente edáfico apresentou a menor água disponível. Corrêa (1985) em estudos das características físicas de um Latossolo Amarelo na Amazônia observou que os preparos do solo convencional, direto e rotavator promoveram maior quantidade de água disponível na camada de 0-20 cm se comparado com o solo virgem da área de mata. Ainda segundo este autor isto se deveu ao aumento da densidade na camada de 0-20 cm promovido pelos preparos do solo, alterando a geometria e a distribuição dos poros.

A área de SAF também apresentou maior teor para matéria orgânica ( $1,4 \text{ dag kg}^{-1}$ , em média), assim como valores elevados de densidade do solo (acima de  $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ ), reduzindo a sua capacidade de água disponível. Sendo assim, segundo Beutler et al. (2002), é possível afirmar que a matéria orgânica melhora a estrutura do solo, mas não a retenção de água, quando ocorrem variações na densidade do solo, ou seja, a densidade do solo superior nos solos cultivados teve efeito mais marcante sobre a água disponível.

Já para Centurion & Andrioli (2000) a retenção de água nas tensões correspondentes à capacidade de campo e ponto de murcha permanente é dependente das frações mais finas do solo (silte + argila) e a matéria orgânica atua de forma indireta, neste processo, por meio da estruturação, quantificada pela densidade do solo.

Segundo Santos et al. (2013), a partir do conhecimento do volume de água disponível à planta, associado a informações como profundidade efetiva e variáveis climáticas, pode-se manejar a irrigação de modo a otimizar o uso de água e os custos. Da mesma forma, estas informações podem ainda ser utilizadas em modelos hidrológicos e de modelagem do processo erosivo.

Destaca-se que Ferreira (2004), em estudos de solos sob diferentes usos no IFPA Castanhal, observou que áreas de cultivo perenes e anuais perderam maior quantidade de água no período de

menor precipitação pluviométrica por serem menos sombreadas, ou seja, o esgotamento do solo dá-se de forma mais acentuada, enquanto que solos sob SAF e floresta apresentam maior eficiência de retenção de água durante os períodos de menor intensidade pluviométrica.

#### 5.4 Curva de retenção

Os parâmetros empíricos encontrados e utilizados para ajuste das curvas de retenção pelo modelo de van Genuchten (1980) estão apresentados na Tabela 12 e, na Tabela 13, os resultados da curva de retenção observados no método de Richards e os valores ajustados pelo modelo de van Genuchten (1980). Observou-se que a retenção de água foi diferenciada entre as formas de uso e nas profundidades, indicando que os atributos dos solos influenciaram o conteúdo de água retido nas diferentes tensões.

Parâmetros empíricos com valores negativos, como os encontrados na umidade residual ( $\theta_r$ ), estimada pelo modelo, representam um comportamento isolado. Segundo Castro (2001) o comportamento da curva é determinado pelos cinco parâmetros conjuntamente ( $\alpha$ ,  $M$ ,  $n$ ,  $\theta_s$ ,  $\theta_r$ ). Assim uma alteração em um dos parâmetros pode ser compensada pela alteração em outro. Isoladamente os parâmetros não têm significado físico.

Tabela 12 - Parâmetros empíricos para uso em modelo de van Genuchten por forma de uso e profundidade.

Prof. (cm)	Formas de uso	Parâmetros empíricos modelo VG				
		$\alpha$	$M$	$n$	$\theta_R$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$\theta_S$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
0 - 20	Pasto	0,0008	7,9881	1,0703	0,07	0,311
	Urucunzal	0,0489	0,056	8,0892	0,087	0,32
	Açaizal	0,0421	0,0633	10,2227	0,072	0,34
	SAF	0,0331	0,0835	7,5992	0,087	0,24
	Mata	0,0024	0,9906	0,2261	- 0,004	0,329
20 - 40	Pasto	0,0057	2,9894	0,7905	- 0,027	0,326
	Urucunzal	0,0403	0,072	11,2637	0,113	0,31
	Açaizal	0,0424	0,0711	10,2328	0,101	0,29
	SAF	0,0643	0,1069	4,5021	0,105	0,242
	Mata	1,1938	0,0541	2,9371	0,08	0,327

Observa-se na Tabela 13 que houve uma tendência de redução da capacidade de retenção de água pelo solo dos agroecossistemas em potenciais matriciais menores (mais negativos) a -0,3 bar, permanecendo a Mata com valores elevados e superiores de retenção a partir desta tensão, exceto para área de SAF na camada de 20-40 cm que permaneceu com menores valores em todas as tensões.

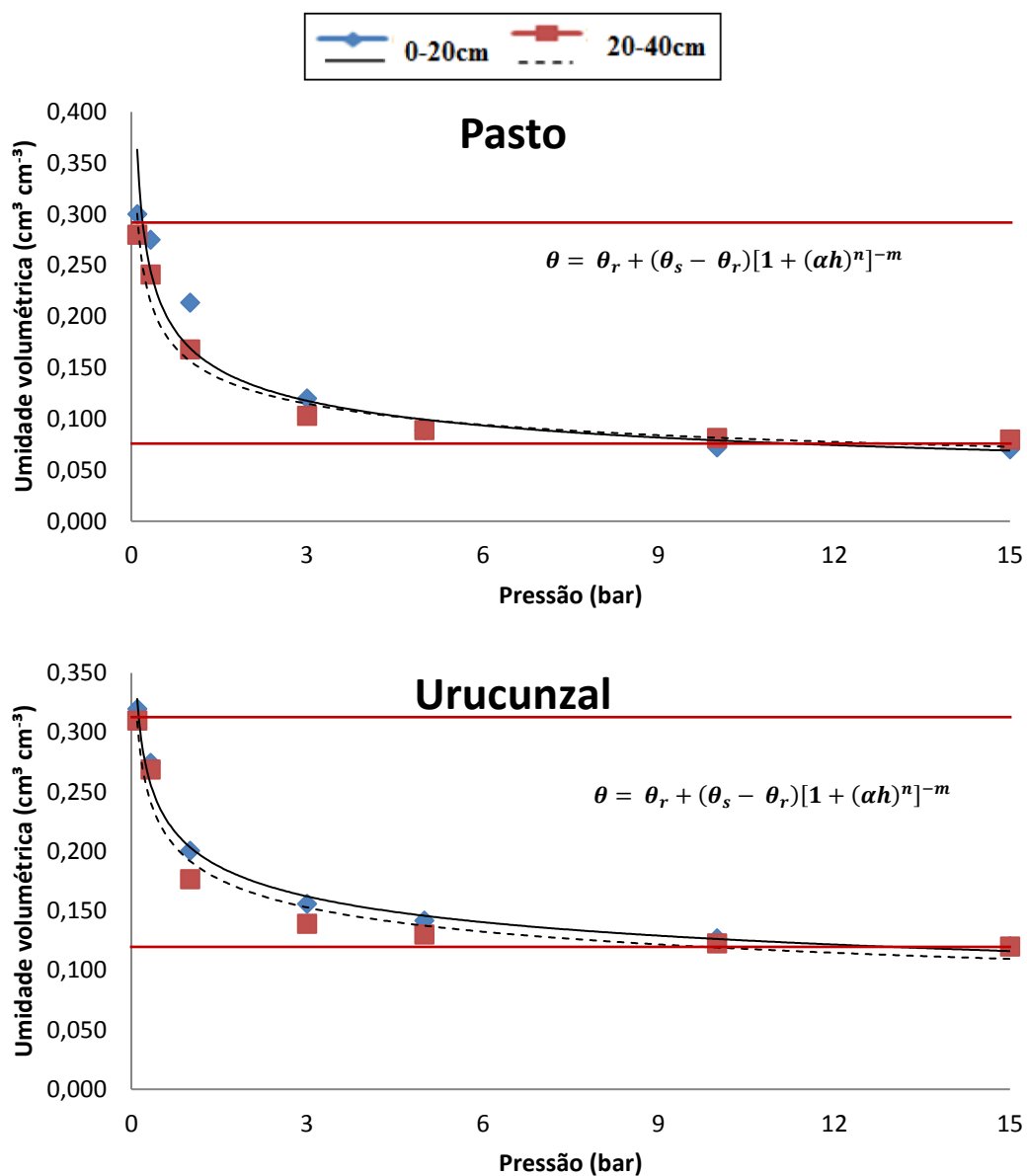
Tabela 13 - Valores observados e valores ajustados pelo modelo de van Genuchten (1980) da curva de retenção e água disponível em solos sob diferentes formas de uso.

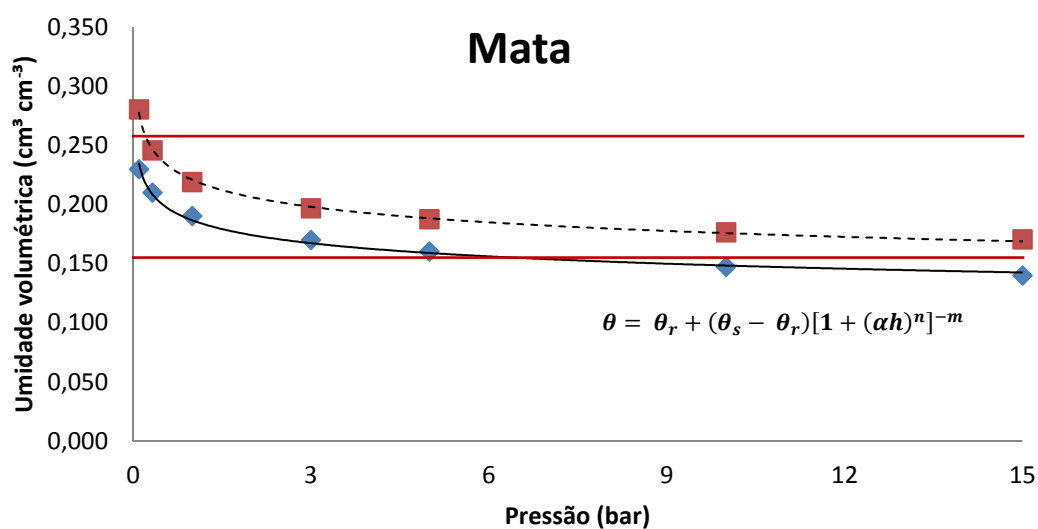
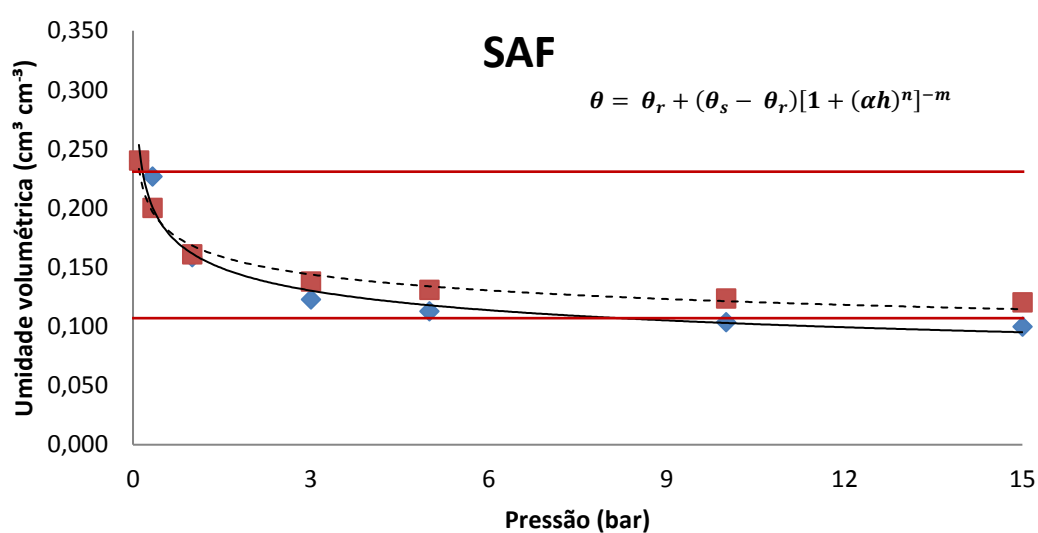
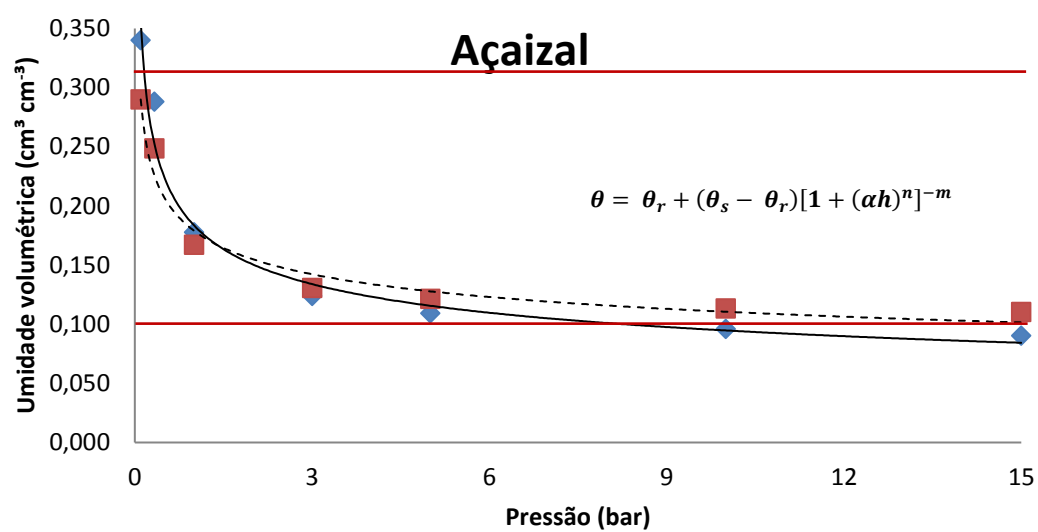
Profundidade (cm)	Formas de uso	Curva de retenção de umidade (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )							AD (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
		-0,1 bar	-0,3 bar	-1 bar	-3 bar	-5 bar	-10 bar	-15 bar	
0 - 20	Pasto	0,2992	0,2580	0,2113	0,1155	0,0837	0,0730	0,0689	0,2303
		(0,3003)	(0,2750)	(0,2136)	(0,1202)	(0,0889)	(0,0723)	(0,0704)	(0,2299)
	Urucunzal	0,3238	0,2814	0,1833	0,1665	0,1508	0,1370	0,1172	0,2066
		(0,3200)	(0,2744)	(0,2005)	(0,1560)	(0,1418)	(0,1270)	(0,1203)	(0,1997)
	Açaizal	0,3368	0,2946	0,1689	0,1255	0,1148	0,1080	0,0920	0,2448
		(0,3400)	(0,2882)	(0,1777)	(0,1239)	(0,1093)	(0,0958)	(0,0903)	(0,2497)
20 - 40	Pasto	0,2424	0,2283	0,1495	0,1317	0,1188	0,0996	0,0990	0,1434
		(0,2400)	(0,2268)	(0,1586)	(0,1227)	(0,1128)	(0,1036)	(0,0998)	(0,1402)
	Mata	0,2275	0,2069	0,1889	0,1730	0,1687	0,1460	0,1378	0,0898
		(0,2296)	(0,2099)	(0,1901)	(0,1697)	(0,1602)	(0,1472)	(0,1397)	(0,0899)
	Urucunzal	0,2760	0,2363	0,1661	0,0989	0,0922	0,0870	0,0772	0,1986
		(0,2801)	(0,2412)	(0,1681)	(0,1032)	(0,0892)	(0,0816)	(0,0801)	(0,2000)
20 - 40	Urucunzal	0,3063	0,2669	0,1736	0,1503	0,1319	0,1184	0,1157	0,1905
		(0,3100)	(0,2689)	(0,1766)	(0,1391)	(0,1302)	(0,1228)	(0,1201)	(0,1899)
	Açaizal	0,2879	0,2456	0,1577	0,1357	0,1208	0,1200	0,1116	0,1762
		(0,2900)	(0,2487)	(0,1671)	(0,1307)	(0,1215)	(0,1134)	(0,1102)	(0,1798)
	SAF	0,2437	0,1983	0,1592	0,1365	0,1350	0,1198	0,1186	0,1251
		(0,2401)	(0,2000)	(0,1609)	(0,1380)	(0,1308)	(0,1235)	(0,1202)	(0,1199)
20 - 40	Mata	0,2845	0,2426	0,2181	0,1980	0,1853	0,1718	0,1660	0,1185
		(0,2803)	(0,2457)	(0,2189)	(0,1967)	(0,1876)	(0,1763)	(0,1703)	(0,1099)

Valores entre parênteses estão ajustados pelo modelo de van Genuchten (1980).

Na Figura 12 estão plotadas as curvas de retenção das duas profundidades estudadas em cada forma de uso, ajustadas pelo modelo de van Genuchten (1980).

Figura 12 - Curvas de retenção ajustadas pelo modelo de van Genuchten (1980) de Latossolo Amarelo Distrófico em área de Pasto, Urucunzal, Açaizal, SAF e Mata.





Apesar de os agroecossistemas Açaizal, Pasto e Urucunzal apresentarem maiores níveis de retenção de água, esta é drenada excessivamente, o que é evidenciado pela acentuada



inclinação das curvas de retenção em relação ao eixo da pressão que representa, segundo Sousa (2010), uma condição de drenagem excessiva nas camadas analisadas.

Enquanto que SAF e Mata apresentam curvas com faixas de retenção predominantemente superiores na camada de 20-40 cm. Este comportamento pode ser justificado pela maior porcentagem de macroporos na camada de 0-20 cm (Tabela 7). Moline et al. (2013b) afirmam que os microporos são tidos como os reservatórios de água, enquanto que os macroporos permitem uma maior capacidade de drenagem do solo, sendo a maior porcentagem destes, determinante na maior ou menor capacidade de retenção de água.

Segundo Azevedo & Silva (1999) e Medeiros et al. (2013) é possível calcular, com relativa precisão, as lâminas brutas de irrigação correspondente ao déficit hídrico, indicado em tempo real pelos tensiômetros, quando há o conhecimento das curvas de retenção de água do perfil de solo de interesse da irrigação. Para o manejo de irrigação por tensiometria, deve ser adotada a tensão crítica na profundidade efetiva referente a cada cultura.

## 6 CONCLUSÃO

A antropização provocou alterações significativas na qualidade do ambiente edáfico, notadas em suas características físico-hídricas, quando comparadas à condição preservada do ambiente de Mata.

Os agroecossistemas, em ordem crescente: Açaizal, SAF, Urucunzal e Pasto induziram uma degradação dos atributos físicos do solo cultivado em relação ao de Mata, quantificada pelos maiores valores de densidade do solo e menores de porosidade total.

A camada de 20-40 cm, comparada a de 0-20 cm, apresentou maiores valores de densidade global e menores valores para porosidade total, macro e microporosidade e água disponível.

O solo estudado, em todas as formas de uso, apresentou maior densidade na camada de 20-40 cm ( $1,64 \text{ g cm}^{-3}$ , em média), denotando adensamento natural.

A determinação da capacidade de campo pelos métodos de campo e laboratório são semelhantes e confiáveis, desde que ajustados os valores de tensão para o método de laboratório para cada solo estudado e ou definido o momento exato da drenagem negligenciável.

## 7 REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Maria Ivanilde de. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 79 f. Dissertação (Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2008.
- ALBUQUERQUE, Jackson Adriano; SANGOI, Luis; ENDER, Márcio. Efeito da integração lavoura pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 25, n. 3, p.717-723, 2001.
- ALVARENGA, Camila Cristina et al. Determinação da umidade do solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente com base em atributos físicos do solo. In: **XIX Congresso de pós-graduação da UFLA**. Minas Gerais, MG: UFLA, 2010.
- ALVES, Marlene Cristina; SUZUKI, Luis Gustavo Akishiro Sanches; SUZUKI, Luiz Eduardo Akiyoshi Sanches. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p. 617 – 625, 2007.
- ANDRADE JÚNIOR, Aderson Soares et al. **Determinação da curva de retenção de água no solo em laboratório**. Embrapa Meio-Norte, 2007, 2p.
- ANJOS, Jonas Ternes dos et al. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 18:139-145, 1994.
- ARATANI, Ricardo Garcia et al. Qualidade física de um latossolo vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, p. 677 – 687, 2009.
- AZEVEDO, Antônio Neri Rodrigues. **Coleta de amostra de solos**. (Embrapa – Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia. Comunicado técnico, 2000). Rondônia: Embrapa – CPAR, 2000.
- AZEVEDO, Juscelino Antônio de; SILVA, Euzebio Medrado da. **Tensiômetro: dispositivo prático para controle da irrigação**. (Embrapa Cerrados. Circular técnica, 001). Embrapa Cerrados, 1999. 33p.
- BERNARDO, Salassier; SOARES, Antonio Alves; MANTOVANI, Everardo Chartuni. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2008, 625p.
- BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo, SP: Editora Ícone, 2012.
- BEUTLER, Amauri Nelson et al. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 26:829-834, 2002.
- BOUYOUCOS, George John. Estimation of the colloidal material in soils. **Science**, v.64, p.362, 1926.
- CAMPOS, Indio. **A sustentabilidade da agricultura na Amazônia**. (NAEA – Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. Paper, 295). Parceria: UFPA. Belém: NAEA, 1998.

CASTRO, Luciana Gomes. **Dinâmica da água em terraços de infiltração**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 2001. 104f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n. 4, p.701 - 709, 2000.

CAVENAGE, Adriana et al. Alterações nas propriedades físicas de um latossolo vermelho-escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 23, p. 997 – 1003, 1999.

CLAESSEN, Marie Elisabeth Claessen et al. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS. 2º edição revista, 1997.

COLLARES, Gilberto Loguércio et al. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1663 – 1674, nov. 2006.

CORRÊA, José Carlos. Características físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso (typic acrorthox) no estado do Amazonas, sob diferentes métodos de preparo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 20 (12) : 1381 – 1387, dez. 1985.

CORRÊA, José Carlos; REICHARDT, Klaus. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 1, p. 107 – 114, jan. 1995.

COSTA, Milton Paulino da; TEIXEIRA, Leopoldo Brito. **Caracterização físico-hídrica de Latossolo Amarelo da região de Capitão Poço, Pará**. (Embrapa – Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa – 92). Belém, PA: Embrapa – CPATU, 1992. nº 133.

CRAVO, Manoel da Silva; VIEGAS, Ismael de Jesus Matos; BRASIL, Edilson Carvalho. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará**. 1º ed. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2010.

DIAS, Camila Brasil. **Propriedades físicas e intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Amarelo coeso sob diferentes usos no ecossistema Tabuleiro Costeiro**. Viçosa, MG: UFV, 2012. 42f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)

DIAS, Clarissa Oliveira. **Determinação da condutividade hidráulica de solos não saturados**. Curitiba, PR: UFPR, 2012. 227f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Construção Civil)

DONAGEMA, Guilherme Kangussú et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 2º ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2011.

DOURADO NETO, Durval et al. **Programa para confecção da curva de retenção de água no solo**. Soil Water Retention Curve, SWRC. (version 3.0 beta), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

FARIA, Sérgio Miana de; FRANCO, Avílio Antônio. **Espécies de leguminosas fixadoras de nitrogênio para revegetação de áreas degradadas**. Curitiba: UFPR, 1994.

FERREIRA, Cícero Paulo. **Atributos físicos-hídricos e químicos do solo em sistemas agrícolas na microrregião de Castanhal, Pará**. Belém, PA: UFRA, 2004. 145p. (Tese de Doutorado - Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias)

FERREIRA, Daniel Furtado. **Sisvar 4.6.: Sistema de análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2003.

FERREIRA, Rogério Resende Martins; TAVARES FILHO, João; FERREIRA, Vinicius Martins. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, out./dez., 2010.

FIORI, Joyce Pinheiro de Oliveira; CAMPOS, J. E. G.; ALMEIDA, Leonardo. Variabilidade da condutividade hidráulica das principais classes de solos do estado de Goiás. **Revista Geociências**. São Paulo, SP: UNESP. v. 29, n. 2, p. 229-235, 2010.

GOMES, Algenor da Silva. Qualidade do solo: conceito, importância e indicadores da qualidade. **Revista Cultivar Hortaliças e Frutas**, Grupo Cultivar Artigos Técnicos, 2010.

GONÇALVES, Adriano Dicesar Martins de Araújo; LIBARDI, Paulo Leonel. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 37:1174-1184, 2013.

JAKELAITIS, Adriano et al. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.

KIEHL, Edmar José. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, SP: Editora Agronômica Ceres, 1985, 492p.

KLEIN, Vilson Antonio; LIBARDI, Paulo Leonel. Condutividade hidráulica de um latossolo roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n.6, p. 945 – 953, 2002.

KLEIN, Vilson Antônio; REICHERT, José Miguel; REINERT, Dalvan José. Água disponível em um Latossolo Vermelho argissolo e murcha fisiológica de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.10, n.3, p.646–650, 2006.

LIBARDI, Paulo Leonel. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo, SP: USP, 2005, 335p.

MALAVOLTA, Eurípides; GOMES, Frederico Pimentel; ALCARDE, José Carlos. **Adubo e adubações**. São Paulo, SP: Editora Nobel, 2002, 200p.

MANTOVANI, Everardo Chartuni; BERNARDO, Salassier; PALARETTI, Luis Fabiano. **Irrigação – princípios e métodos**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2009, 355p.

MANTOVANI, Everardo Chartuni; ZINATO, Cristiano Egnaldo; SIMÃO, Fúlvio Rodriguez. **Manejo de irrigação e fertirrigação na cultura da goiabeira**. Viçosa: UFV, 2006.

MARCHÃO, Robélío Leandro et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 873 – 882, jun. 2007.

MARCHIORI JÚNIOR, Milton; MELO, Wanderley Jose de. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1177 – 1182, jun. 2000.

MEDEIROS, Salomão de Sousa et al. **Manejo de irrigação utilizando o tensiômetro**. Instituto Nacional do Semiárido, 2013.

MOLINE, Ederlon Flávio da Veiga et al. Ponto de murcha permanente em solos arenoso e argiloso utilizando o tomateiro como cultura indicadora. **Global Science Technology**, v. 06, n. 01, p. 164-170, jan./abr. 2013a.

MOLINE, Ederlon Flávio da Veiga et al. Análise de ponto de murcha permanente com a cultura do feijoeiro em solo de textura arenosa e argilosa. In: **65º Reunião anual da sociedade brasileira para o progresso da ciência**. Recife, PE: UFPE, 2013b.

MULLER, Marcelo Marques Lopes et al. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1409-1418, nov. 2001.

NEVES JÚNIOR, Afrânio Ferreira. **Avaliação da qualidade física de solos em pastagens degradadas da Amazônia**. Piracicaba, SP: USP, 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia)

OLIVEIRA, João Bertoldo de. **Pedologia aplicada**. 4º ed. Piracicaba: FEALQ, 2011, 595p.

PEDRO VAZ, Carlos Manoel; NAIME, João de Mendonça; SILVA, Alvaro Macedo da. **Analizador granulométrico de solos**. (Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária. Comunicado técnico – 96). São Carlos, SP: Embrapa – CNPDIA, 1996. Nº 5, p. 1-5.

REICHARDT, Klaus. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, p. 211 – 216, 1988.

REICHARDT, Klaus; TIMM, Luís Carlos. **Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP: Editora Manole, 2004.

RESENDE, Mauro et al. **Pedologia** – Base para distinção de ambientes. 5º ed. rev. Lavras: UFLA, 2007.

RODRIGUES, Luis Nery; NERY, Aparecida Rodrigues; ALBUQUERQUE, Fernando de Sousa. Estimativas da evapotranspiração de referência para Castanhal, Estado do Pará. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia: Cenários de Mudanças Climáticas e a Sustentabilidade Socioambiental e do Agronegócio na Amazônia**. 18:2013 Belém – PA.

SANTOS, Josiane Sarmiento dos; SILVA, Ludmila Monteiro da; COSTA, Gabriel Brito. Um estudo da precipitação pluviométrica no município de Castanhal-PA. In: **XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Florianópolis, SC, 2006.

SANTOS, John Kelvin dos et al. Diagnóstico das características físicas do solo para manejo da água de irrigação e controle da erosão. In: **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Bento Gonçalves, RS, 2013.

SILVA, Fábio Cesar da et al. **Manual de métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo**. Embrapa: Solos, 1998.

SILVA, Luciana Moraes; FIDALSKI, Jonez; BERTOL, Oromar João. **Disponibilidade de água do solo em uma catena característica do arenito do noroeste do Paraná**. Uberlândia, MG: XXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011.

SOUSA, Maria Ivonilde Leitão de. **Qualidade físico-hídrica de um argissolo vermelho-amarelo sob agroecossistema e floresta natural em Roraima**. Boa Vista, 2010.

SOUZA, Zigomar Menezes de. **Propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro de Selvíria (MS) sob diferentes usos e manejos**. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2000. 127p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)

SOUZA, Joabe Martins de et al. Curva de retenção de água e condutividade hidráulica do solo, em lavoura de café conilon submetida à subsolagem. **Coffe Science**. Lavras, v. 9, n. 2, p. 226-236, abr./jun. 2014.

VAN GENUCHTEN, Martinus Theodorus. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, 1980. 44: 892–898

VIEIRA, Lúcio Salgado. **Manual da ciência do solo: Com ênfase aos Solos Tropicais**. 2º ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1988, 464p.

VIEIRA, Lúcio Salgado; SANTOS, Paulo Cézar Tadeu Carneiro dos. **Amazônia seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo, SP: Editora Agronômica Ceres, 1987, 416p.

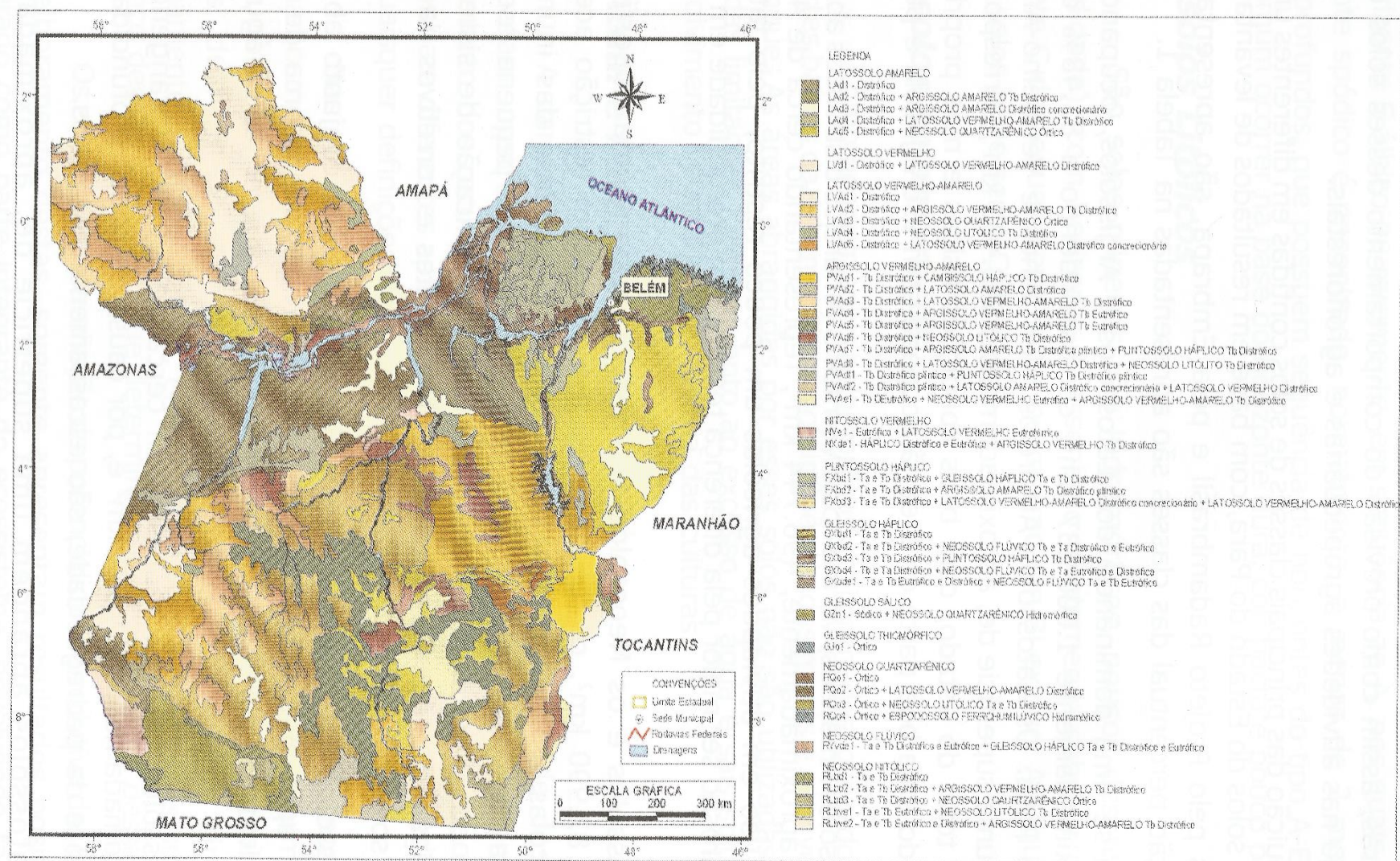
## **ANEXOS**



## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A - DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS DO ESTADO DO PARÁ.....	63
ANEXO B - MODELO DE PLANILHA PARA DETERMINAÇÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA DE RETENÇÃO.....	64

# ANEXO A - DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS DO ESTADO DO PARÁ.



Fonte: Cravo, Viegas & Brasil (2010)

ANEXO B - MODELO DE PLANILHA PARA DETERMINAÇÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA DE  
RETENÇÃO.

Potencial	Prof. / Ponto	Massa M1 (g): (recipiente sem tampa vazio)	Massa M2 (g): (recipiente sem tampa + Solo coletado)	Massa M3 (g): (recipiente sem tampa + Solo seco em estufa)	USS (%)
-0,1 bar	0 a 20 cm - PT. 1				
	0 a 20 cm - PT. 2				
	0 a 20 cm - PT. 3				
	20 a 40 cm - PT. 1				
	20 a 40 cm - PT. 2				
	20 a 40 cm - PT. 3				
-0,3 bar	0 a 20 cm - PT. 1				
	0 a 20 cm - PT. 2				
	0 a 20 cm - PT. 3				
	20 a 40 cm - PT. 1				
	20 a 40 cm - PT. 2				
	20 a 40 cm - PT. 3				
-1,0 bar	0 a 20 cm - PT. 1				
	0 a 20 cm - PT. 2				
	0 a 20 cm - PT. 3				
	20 a 40 cm - PT. 1				
	20 a 40 cm - PT. 2				
	20 a 40 cm - PT. 3				
-3,0 bar	0 a 20 cm - PT. 1				
	0 a 20 cm - PT. 2				
	0 a 20 cm - PT. 3				
	20 a 40 cm - PT. 1				
	20 a 40 cm - PT. 2				
	20 a 40 cm - PT. 3				
-5,0 bar	0 a 20 cm - PT. 1				
	0 a 20 cm - PT. 2				
	0 a 20 cm - PT. 3				
	20 a 40 cm - PT. 1				
	20 a 40 cm - PT. 2				
	20 a 40 cm - PT. 3				
-10,0 bar	...				
-15,0 bar	...				