



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BARRAGEM  
E GESTÃO AMBIENTAL

PABLO PAULO SOUZA NERI

**CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE SOLOS EM  
ÁREAS *ex situ* e *in situ* DA ILHA DE GERMOPLASMA, UMA RESERVA  
AMBIENTAL EM TUCURUÍ, PARÁ.**

Tucuruí-Pará

2020

PABLO PAULO SOUZA NERI

**CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE SOLOS EM  
ÁREAS *ex situ* e *in situ* DA ILHA DE GERMOPLASMA, UMA RESERVA  
AMBIENTAL EM TUCURUÍ, PARÁ.**

Exame de defesa apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Segurança de Barragem e Gestão Ambiental.

Área de concentração: Barragem e Meio Ambiente.

Linha de pesquisa: Planejamento e Gestão Ambiental.

Orientadora: Profa Dra. Karyme do Socorro de Souza Vilhena

Tucuruí-Pará

2020

PABLO PAULO SOUZA NERI

**CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE SOLOS EM  
ÁREAS EX SITU E IN SITU DA ILHA DE GERMOPLASMA, UMA RESERVA  
AMBIENTAL EM TUCURUÍ, PARÁ.**

Exame de defesa apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Segurança de Barragem e Gestão Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Karyme do Socorro de Souza Vilhena

Aprovada em 09 de março de 2020.

BANCA EXAMINADORA:

Karyme do Socorro de Souza Vilhena

Orientadora – Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karyme do Socorro de Souza Vilhena (UFPA)

Andre Luiz Amarante Mesquita

Membro – Prof. Dr. André Luiz Amarante Mesquita (UFPA)

Marilene Nunes Oliveira

Membro – Prof. Dr. Marilene Nunes Oliveira (UNIFESSPA)

João Elias Vidueira Ferreira

Membro – Prof. Dr. João Elias Vidueira Ferreira (IFPA)

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

N445c Neri, Pablo Paulo Souza  
Caracterização dos atributos físicos e químicos de solos em áreas  
ex situ e in situ da ilha de germoplasma, uma reserva ambiental  
em Tucuruí, Pará. /Pablo Paulo Souza Neri. — 2020.  
90 f. : il. color.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dra. Karyme do Socorro de Souza  
Vilhena

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental, Campus  
Universitário de Tucuruí, Universidade Federal do Pará, Tucuruí,  
2020.

1. Atributos químicos e físicos. 2. Solo. 3. Meio Ambiente.  
4. Análise multivariada. 5. Usina Hidrelétrica. I. Título.

CDD 620.8

---

A Jesus Cristo, meu SENHOR e salvador  
por sempre acreditar em mim, pelo seu  
amor e sacrifício e sua íntima compaixão  
aos desvalidos e enfermos.

## AGRADECIMENTOS

À minha amada e diligente esposa Suelem Gomes Neri e meu primogênito João Miguel Gomes Neri. Obrigado por serem minha maior motivação na busca por superação.

Ao meu Pai, exemplo e orgulho Reinaldo Miranda Neri e minha Mãe professora Telma Luzia Braga de Souza, minha irmã professora MSc Pamela de Paula Souza Neri por sempre estarem ao meu lado.

À minha orientadora, Professora Dra. Karyme do Socorro de Souza Vilhena pela forma compreensiva, firme e profissional com que me orientou, digo obrigado por tudo, e por fazer parte desse caminhar.

Ao Professor Dr. Fábio José Bonfim Cardoso pela imensa e indispensável ajuda nas análises estatísticas, pela motivação, aprendizado e compartilhamento de conhecimento.

Agradeço de forma especial a banca de defesa de minha dissertação: Aos professores Dr. João Elias Vidueira Ferreira e Dra. Marilene Nunes Oliveira por aceitarem o convite, pelas contribuições e por dividirem conhecimento.

À Universidade Federal do Pará-UFPA, Campus Tucuruí através do programa de Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental-PEBGA pela oportunidade e confiança.

À ELETRONORTE por autorizar e auxiliar nas coletas de amostras de solo na ilha de Germoplasma.

Aos meus colegas de turma por elevar sempre o debate nas aulas, em especial ao Bruno Alves Nogueira.

À Géssica Cavalcante Zambrano e Cristian Santos Nunes pela ajuda nas análises dos solos.

Aos bolsistas do Laboratório de Química (LAQUIM) pela dedicação à organização do laboratório.

Aos servidores públicos do Laboratório de Engenharia Civil da UFPA e do Campus Universitário de Tucuruí pelos seus serviços.

Aos guardas e agentes de serviços gerais pela gentileza e carinho com que tratam todos dentro da instituição.

“E o SENHOR te guiará continuamente, e fartará a tua alma em lugares áridos, e fortificará os teus ossos; e serás como um jardim regado, e como um manancial, cujas águas nunca faltam”.

(ISAÍAS, 58:11)

## RESUMO

A construção de usinas hidrelétricas no mundo está fundamentada no aumento da demanda por energia e controle das cheias dos rios. No âmbito nacional são alternativas em função do grande potencial hidrelétrico brasileiro. A UHE Tucuruí está localizada na Bacia Tocantins-Araguaia e a partir do enchimento do reservatório formaram-se mais de 1.100 ilhas, habitadas por cerca de 6.500 pessoas, que tem na maior parte de sua fonte de renda o extrativismo vegetal e criação animal. Dentre estas ilhas, pode se destacar a Ilha de Germoplasma, que é uma área de preservação permanente (APP) e está localizada a 3 km da barragem de Tucuruí. Esta ilha foi criada com intuito de garantir a conservação do material genético vegetal da região alagada pelo barramento. Na ilha de germoplasma, algumas matrizes florestais plantadas nas quadras estão perecendo. Em outras quadras a produtividade das espécies florestais está diminuindo. Essa problemática pode prejudicar a coleta das sementes para produção das mudas e propagação. O objetivo desta pesquisa foi determinar os atributos físicos e químicos do solo e caracterizar a área *in situ* (PC3), plantio em sombreamento (Q18) e plantio a pleno sol (Q17) área *ex situ*, da ilha de germoplasma localizada no lago da usina hidrelétrica de Tucuruí. Foram coletadas amostras compostas deformada de 10 a 30 subamostras em cada área nas profundidades de 0–10cm e 10-20cm. Em seguida, as amostras foram preparadas e analisadas no laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará no Campus Universitário de Tucuruí. Os resultados dos atributos químicos e físicos dos solos foram submetidos ao teste estatístico Tukey a 5% de probabilidade, Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA) e Análise de Componentes Principais (PCA). Os resultados das análises química e física do solo permitiram compreender as características das áreas da ilha de germoplasma. Os maiores teores de cálcio e magnésio foram encontrados na Q17, devido ao manejo realizado no plantio. Além do mais, apresenta elevado intemperismo e baixo teor de matéria orgânica, e por isso, baixa Capacidade de Troca de Cátions. Em relação as áreas de plantio Q17 e Q18, o plantio no sombreamento proporciona as melhores condições para o desenvolvimento das espécies vegetais e manutenção da qualidade do solo, à medida que, apresentou semelhança entre os atributos químicos da área de vegetação natural. A partir dos dados obtidos e da análise estatística observou-se maior semelhança entre as áreas PC3 e Q18. Através dos resultados da Análise de Componentes Principais (PCA) foi possível visualizar a contribuição dos atributos químicos do solo na caracterização das áreas estudadas. Os atributos químicos do solo que mais contribuíram foram:  $\Delta\text{pH}$  (-0,333),  $\text{Al}^{3+}$  (-0,332) e  $\text{pH H}_2\text{O}$  (0,323),  $\text{H}^+$  (-0,534),  $\text{Fe}^{2+}$  (0,410) e AP (-0,379). A Análise de Componentes Hierárquico (HCA), confirmou os resultados obtidos na Análise de Componentes Principais (PCA).

Palavras-chave: Atributos químicos e físicos; Análise multivariada. Meio Ambiente; Tucuruí UHE.

## ABSTRACT

The construction of hydroelectric power plants in the world is based on increasing demand for energy and river flood control. At the national level they are alternatives due to the great Brazilian hydroelectric potential. The Tucuruí Hydro-Power Complex is located in the Tocantins-Araguaia Basin and over 1,100 islands have been formed from the filling of the reservoir, inhabited by some 6,500 people, most of whom have vegetable extraction and animal husbandry as their source of income. Among these islands, one can highlight the Germoplasma Island, which is a permanent preservation area (APP) and is located 3 km from the Tucuruí dam. This island was created in order to guarantee the conservation of the plant genetic material of the region flooded by the dam. On the island of germplasm, some forest matrices planted on the courts are perishing. In other courts the productivity of the forest species is decreasing. This problem can hinder the extraction of seeds for seedling production and propagation. The purpose of this research was to determine the physical and chemical attributes of the soil and characterize the area in situ (PC3), shade planting (Q18) and full sun planting (Q17) ex situ area of the germplasm island located in the lake of the Tucuruí hydroelectric power station. Deformed composite samples were collected from 10 to 30 sub-samples in each area at depths of 0-10cm and 10-20cm. The samples were then prepared and analyzed in the Civil Engineering Laboratory of the Federal University of Pará at the Tucuruí University Campus. The chemical and physical results of the soils were submitted to the Tukey statistical test at 5% probability, Hierarchical Grouping Analysis (HCA) and Principal Component Analysis (PCA). The results of the soil chemical and physical analyses made it possible to understand the characteristics of the germplasm island areas. The highest levels of calcium and magnesium were found in Q17, due to the management performed in the plantation. Moreover, it presents high weathering and low organic matter content, and therefore, low Cation Exchange Capacity. In relation to the Q17 and Q18 planting areas, the shading planting provides the best conditions for the development of plant species and maintenance of soil quality, as it showed similarity between the chemical attributes of the natural vegetation area. From the data obtained and statistical analysis, there was greater similarity between the areas PC3 and Q18. Through the results of the Principal Component Analysis (PCA) it was possible to visualize the contribution of soil chemical attributes in the characterization of the studied areas. The soil chemical attributes that contributed the most were:  $\Delta\text{pH}$  (-0.333),  $\text{Al}^{3+}$  (-0.332) and  $\text{pH H}_2\text{O}$  (0.323),  $\text{H}^+$  (-0.534),  $\text{Fe}^{2+}$  (0.410) and AP (-0.379). Hierarchical Component Analysis (HCA) confirmed the results obtained in Principal Component Analysis (PCA).

**Keywords:** Chemical and physical attributes. Tucuruí UHE. Multivariate Analysis. Environment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.....	19
Figura 2 – Perfil do Argissolo Vermelho-Amarelo e morfologia dos horizontes genéticos.....	21
Figura 3 – a) Chernossolo Ebânico Órtico; b) Argissolo Amarelo estrófico.....	22
Figura 4 – a) laminar, ba) prismática, bb) colunar, ca) angulares, cb) subangulares e d) granular.....	23
Figura 5 – Guia de grupamentos de classes de textura.....	24
Figura 6 – Determinação de consistência pela: a) Amostra seca, b) Amostra úmida.....	25
Figura 7 – Aspectos da cerosidade: a) forte e abundante, b) moderada e abundante.....	25
Figura 8 – Capacidade de trocas catiônicas no solo.....	33
Figura 9 – Análise dos componentes principais para <i>loadings</i> (variáveis).....	36
Figura 10 – Formação dos grupamentos segundo as variáveis pesquisadas.....	37
Figura 11 – Quadras “ <i>ex situ</i> ” e parcelas “ <i>in situ</i> ” na Ilha de Germoplasma.....	40
Figura 12 – Representação esquemática dos pontos coletados para as subamostras.....	42
Figura 13 – Amostra coletada com auxílio do trado tipo caneco.....	43
Figura 14 – a) Pesagem da massa úmida, b) secagem na estufa, c) pesagem da massa seca.....	44
Figura 15 – a) Amostra seca ao ar, b) Lavagem do conteúdo peneirado, c) Pesagem.....	45
Figura 16 – a) Sucção do extrato de saturação, b) Leitura da condutividade elétrica.....	46
Figura 17 – a) Amostra antes da titulação, b) Após a viragem com solução de NaOH.....	47
Figura 18 – a) Alíquota antes da titulação b) Após a viragem com solução de EDTA.....	48
Figura 19 – a) Aquecimento em condensador, b) Filtração, c) Extrato sulfúrico obtido.....	51
Figura 20 – Solução com indicador antes da titulação e após a viragem.....	52
Figura 21 – Aparelho pHmetro utilizado para determinar o pH em H <sub>2</sub> O, KCl e CaCl <sub>2</sub> .....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de umidade do solo presente nas amostras.....	57
Tabela 2 – Calhaus, Cascalho e Terra Fina presente no solo.....	58
Tabela 3 – Valores da condutividade elétrica no solo.....	59
Tabela 4 – Média aritmética dos valores de alumínio das amostras do solo.....	60
Tabela 5 – Médias aritméticas dos valores da CTC das amostras do solo.....	61
Tabela 6 – Médias aritmética dos valores de ferro no extrato sulfúrico.....	62
Tabela 7 – Classificação do solo de acordo com teores de óxidos de ferro.....	62
Tabela 8 – Determinação dos valores de pH em CaCl <sub>2</sub> das amostras do solo.....	63
Tabela 9 – Valores de classificação de pH em água e CaCl <sub>2</sub> .....	63
Tabela 10 – Resultados dos teores de carbono orgânico e matéria orgânica.....	64
Tabela 11 – Variância e variância total em relação às Componentes Principais.....	65
Tabela 12 – Distância euclidiana entre as áreas, calculadas a partir da matriz padronizada.....	68

## LISTAS DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

°C	Grau Celsius
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de alumínio
Ca <sup>2+</sup>	Cálcio
CaCl <sub>2</sub>	Cloreto de Cálcio
Cl	Cloro
cmol <sub>c</sub>	Centimol de Carga
CO	Carbono Orgânico
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CO <sub>3</sub>	Íon Carbonato
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
Cu	Cobre
dm <sup>3</sup>	Decímetros Cúbicos
EDTA	Ácido Etilenodiamino Tetra-Acético
Fe <sup>+2</sup>	Ferro (II)
g	Gramas
GPS	<i>Global Positioning System</i>
H <sup>+</sup>	Íon Hidrogênio
H <sub>2</sub> O	Água
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Íon Dihidrogenofosfato
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido Sulfúrico
Ha	Hectares
HCl	Ácido Clorídrico
HCO <sub>3</sub>	Íon Bicarbonato
HNO <sub>3</sub>	Ácido Nítrico
HPO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Íon Hidrogenofosfato
K <sup>2+</sup>	Potássio
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Dicromato de Potássio
KCl	Cloreto de Potássio
kg	Quilograma
Mg <sup>2+</sup>	Magnésio
mm	Milímetros
mmol <sub>c</sub>	Milimol de Carga
MO	Matéria orgânica
Na	Sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
NDAE	Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia.
UFPA	Universidade Federal do Pará
NH <sub>2</sub>	Amina
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Íon Amônia
NH <sub>4</sub> OH	Hidróxido de Amônia
n <sup>o</sup>	Número
*	Asterisco
OH <sup>-</sup>	Íon Hidróxido
pH	Potencial Hidrogeniônico

UHE	Usina Hidrelétrica
PC3	Parcela 3
Q18	Quadra 18
PCA	<i>Análise de Componente Principal</i>
PC	<i>Componente Principal</i>
HCA	<i>Análise de componentes Hierárquicos</i>
m <sup>3</sup> /s	Metros cúbicos por segundos
km <sup>2</sup>	Quilômetros quadrados
APP	Área de Preservação Permanente
µm	Micrómetro
Cl	Cloreto
Mo	Molibdênio
Be	Berílio
Zn	Zinco
Cu	Cobre
Mn	Manganês
Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Óxidos de ferro
mL	Mililitro
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
mS/cm	Milisiemens por centímetros
KOH	Hidróxido de potássio
g/kg <sup>-1</sup>	gramas por quilogramas
AP	Acidez Potencial

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>18</b>
<b>3.</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1.</b>	<b>Definição de solo.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2</b>	<b>Morfologia do solo.....</b>	<b>20</b>
3.2.1.	Cor do solo.....	21
3.2.2.	Estrutura.....	22
3.2.3.	Textura.....	23
3.2.4.	Consistência.....	24
3.2.5.	Cerosidade.....	25
<b>3.3.</b>	<b>Atributos físicos do solo.....</b>	<b>26</b>
3.3.1.	Granulometria.....	26
3.3.2.	Umidade do Solo.....	27
3.3.3.	Condutividade elétrica.....	28
<b>3.4.</b>	<b>Atributos químicos do solo.....</b>	<b>28</b>
3.4.1.	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	29
3.4.2.	Matéria Orgânica.....	29
3.4.3.	Carbono Orgânico.....	30
3.4.4.	Alumínio ( $Al^{3+}$ ).....	30
3.4.5.	Ferro ( $Fe^{2+}$ ).....	31
3.4.6.	Bases Trocáveis.....	31
3.4.7.	Capacidade de troca de cátions (CTC).....	32
3.4.8.	Saturação por bases.....	34
3.4.9.	Acidez do solo.....	34
<b>3.5.</b>	<b>Análise de variância e teste Tukey.....</b>	<b>34</b>
<b>3.6.</b>	<b>Análise estatística multivariada.....</b>	<b>35</b>
3.6.1.	Análise de Componentes Principais (PCA).....	35
3.6.2.	Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA).....	36
<b>3.7.</b>	<b>Qualidade do solo e gestão ambiental.....</b>	<b>37</b>
<b>4.</b>	<b>MÉTODO DA PESQUISA.....</b>	<b>39</b>
<b>4.1.</b>	<b>Características da área de estudo.....</b>	<b>40</b>
4.1.1.	Parcela 3.....	41
4.1.2.	Quadra 18.....	41
4.1.3.	Quadra 17.....	41
<b>4.2.</b>	<b>Coleta de amostras de solo.....</b>	<b>41</b>
<b>4.3.</b>	<b>Quantificação dos atributos físicos do solo.....</b>	<b>43</b>
4.3.1	Preparo das amostras de solo para os ensaios.....	43
4.3.2.	Umidade em base gravimétrica.....	43
4.3.3.	Calhaus, Cascalho e Terra Fina.....	44
4.3.3.1.	Lavagem dos calhaus e cascalhos.....	45
4.3.4.	Condutividade elétrica.....	46
4.4.	Quantificação dos atributos químicos do solo.....	47
4.4.1.	Cátions trocáveis.....	47
4.4.1.1.	Alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ).....	47
4.4.1.2.	Cálcio + Magnésio trocáveis.....	48
4.4.1.3.	Cálcio trocável.....	49
4.4.2.	Acidez potencial do solo.....	50

4.4.3.	Ferro no extrato sulfúrico.....	51
4.4.3.1.	Ataque sulfúrico.....	51
4.4.3.2.	Determinação do teor de ferro no extrato sulfúrico.....	52
4.4.4.	Potencial hidrogeniônico – pH.....	53
4.4.5.	Carbono orgânico.....	53
4.4.6.	Matéria orgânica.....	54
<b>4.5.</b>	<b>Análises estatísticas.....</b>	<b>55</b>
4.5.1.	Análise de variância e teste Tukey.....	55
4.5.2.	Análise multivariada.....	56
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>57</b>
<b>5.1.</b>	<b>Umidade gravimétrica.....</b>	<b>57</b>
<b>5.2.</b>	<b>Calhaus, cascalho e terra fina.....</b>	<b>58</b>
<b>5.3.</b>	<b>Condutividade elétrica.....</b>	<b>58</b>
<b>5.4.</b>	<b>Alumínio trocável.....</b>	<b>59</b>
<b>5.5.</b>	<b>Bases trocáveis.....</b>	<b>61</b>
<b>5.6.</b>	<b>Teor de ferro no solo.....</b>	<b>61</b>
<b>5.7.</b>	<b>Potencial hidrogeniônico do solo (pH).....</b>	<b>62</b>
<b>5.8.</b>	<b>Matéria orgânica e carbono orgânico.....</b>	<b>64</b>
<b>5.9.</b>	<b>Análise de Componentes Principais (PCA).....</b>	<b>65</b>
<b>5.10.</b>	<b>Análise de Componentes Hierárquico (HCA).....</b>	<b>67</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>69</b>
	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>70</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>71</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com as propostas mundiais de utilização de fontes renováveis para geração de energia, a expansão dos projetos de construção de hidrelétricas tem como finalidade a geração de energia mais adequada às expectativas sociais de conservação ambiental para redução do processo de aquecimento global (FORNASIER; ROGERIO, 2018). Ansare *et al.*, (2014) citam que a construção de usinas hidrelétricas no mundo está fundamentada no aumento da demanda por energia, e principalmente no desenvolvimento econômico e social, tais como o fornecimento de energia elétrica, controle de cheias dos rios e a criação de empregos.

No âmbito nacional, os empreendimentos hidrelétricos são alternativas favoráveis economicamente em função do grande potencial hidrelétrico disponível no território (MORETTO *et al.*, 2012). As usinas hidrelétricas são importantes na estratégia de crescimento econômico brasileiro e prioritário nos planos de expansão da oferta de energia elétrica, suprimindo o abastecimento doméstico e industrial na escala nacional (GOMES *et al.*, 2017).

No âmbito nacional e internacional, os projetos hidrelétricos na Amazônia se configuraram como a “nova fronteira” para a geração de energia elétrica (SILVEIRA; NETO; DURIEUX, 2019). Existem planos para construção de grandes e pequenas barragens hidrelétricas, devido ao seu potencial na geração hidrelétrica, pela abundância de água que percorrem a região e às quedas topográficas significativas nos afluentes do rio Amazonas (FEARNSIDE, 2015). No entanto, essas barragens contribuem para a degradação ambiental e social como a diminuição da qualidade da água, o assoreamento do corpo hídrico, o aumento de doenças de veiculação hídrica e diminuição das atividades de ocupação e uso do solo (LIMA *et al.*, 2018). 1

A UHE Tucuruí está localizada na Bacia Tocantins-Araguaia, que percorre 2.500 km de Sul a Norte, sua vazão média é de 10.950 m<sup>3</sup>/s, em uma área de drenagem de 767.000 km<sup>2</sup>. A capacidade de geração de energia elétrica é de 8.545 megawatts, todavia, atualmente produz 4.250 megawatts. Seu reservatório na cota máxima atinge a altura de 74,00 metros, com volume total de 50,7 bilhões de m<sup>3</sup> de água armazenada e uma extensão de 2,917 km<sup>2</sup> (ELETRONORTE, 2018).

A partir do enchimento do reservatório da barragem de Tucuruí formaram-se mais de 1.100 ilhas, habitadas por 6.500 pessoas, que baseiam sua fonte de renda no extrativismo vegetal e criação animal (PINTO, 2012). Estas ilhas são pouco ocupadas e são caracterizadas pelo uso moderado do solo, mantendo assim a vegetação preservada. No entanto, a vegetação nativa está sendo gradualmente substituída pela pecuária e lavoura (JATOBÁ, 2006).

Dentre essas ilhas encontra-se a Ilha de Germoplasma que é uma área de preservação permanente (APP) e está localizada a 3 km da barragem de Tucuruí. Nela são preservadas cerca de 15.000 árvores de 46 espécies diferentes. A criação da ilha de germoplasma foi uma ação mitigatória implantada com intuito de garantir a conservação do material genético vegetal da região que foi alagada pelo barramento, desde a coleta, produção, tratamento até as doações de sementes e mudas. Existem dois bancos genéticos, o primeiro é composto pela própria floresta nativa remanescente (*in situ*) e outro (*ex situ*) é o resultado do plantio das sementes coletadas (ARAÚJO; ROCHA, 2008).

Durante muito tempo, o solo foi considerado como um simples depósito de nutrientes e base de fixação dos vegetais (PARRON *et al.*, 2015). Contudo, o solo exerce outras funções nos ecossistemas e está diretamente ligado ao bem-estar do ser humano. Dentre essas funções estão o fornecimento de matérias-primas, regulação e proteção ambiental através do sequestro de carbono (LAL, 2013). Desempenha também a função de distribuir as águas superficiais e subterrâneas, atua na proteção da qualidade da água e do ar (CAVALCANTE *et al.*, 2016).

A qualidade do solo é entendida como a capacidade de sustentar a produtividade biológica do ecossistema, mantendo o equilíbrio ambiental e promovendo a saúde de plantas e ou animais e do próprio ser humano (CRUZ *et al.*, 2018). A avaliação e caracterização da qualidade do solo compreendem em determinar as propriedades do solo que representam os atributos físicos, químicos e biológicos. A seleção destes indicadores de qualidade do solo depende das características e como influenciam o meio ambiente e os variados usos da terra (STOTT *et al.*, 2010).

As propriedades químicas do solo podem ser definidas como o estoque de nutrientes nele contidos, presentes em quantidades mínimas e aceitáveis para a planta se desenvolver e expor todo seu potencial genético, e que esteja localizada em uma região climática que permita a manutenção da umidade em suas estruturas ideais (SILVA *et al.*, 2015). A melhoria destas propriedades permite aprimorar as condições de desenvolvimento das plantas e para a conservação da diversidade de organismos que habitam o solo (ROSSINO, 2018).

Os atributos físicos podem apresentar variações espaciais, mesmo em solos considerados homogêneos, até pertencentes a uma mesma classe (FILHO *et al.*, 2010). Tais como: densidade do solo, condutividade hidráulica, porosidade, espessura, estabilidade de agregados, resistência à penetração capacidade de retenção de água (ARAÚJO *et al.*, 2012). São bastante influenciados pelas inundações sazonais, ocasionando uma diminuição na biomassa do solo e dificulta a absorção de nutrientes pelas plantas (BARALOTO *et al.*, 2011).

Entretanto, onde a vegetação nativa é preservada, propicia boas condições das características físicas do solo (ROSSETTI; CENTURION, 2015).

O banco de germoplasma foi uma medida mitigatória para manutenção das licenças de instalação e operação para a UHE Tucuruí. Nele foram plantadas diferentes espécies de árvore coletadas na área alagada, 28 parcelas de 2,4 ha em uma ilha no reservatório perto da barragem. A ilha de germoplasma é uma área de preservação permanente (APP) e foi criada com objetivo de preservar e propagar as características genéticas das espécies vegetais presentes na região antes do enchimento do reservatório. (FEARNSIDE, 2015; LEÃO *et al.*, 2005).

De acordo com as informações repassadas pela administração da ilha de germoplasma, algumas matrizes florestais de espécies importantes como *Genipa americana L.*, popularmente conhecida como jenipapo, e *Virola michelli* Heckel, chamada de Ucuúba e com grande potencial farmacológico, plantadas nas quadras estão perecendo. Em outras quadras a produtividade das espécies florestais está diminuindo. Essa problemática pode prejudicar a extração das sementes para produção das mudas e propagação. A queda na produtividade e a perda dessas matrizes vegetais podem estar relacionadas as características e possíveis modificações que ocorreram no solo da área com o passar do tempo.

Várias pesquisas foram realizadas na região do lago da UHE Tucuruí, tais como as características das espécies florestais, impactos sociais, fauna e recursos hídricos. No entanto, poucas pesquisas estão relacionadas aos atributos químicos e físicos do solo, principalmente na ilha de germoplasma, o que torna a atual pesquisa inédita e importante (FERNANDES; MACIEL; PIETROBOM, 2012, SALOMÃO *et al.*, 2006, GARCIA; BORGES; TAVARES; MARTINS, 2014; FILHO *et al.*, 2010).

Neste sentido, pesquisas acerca dos atributos químicos e físicos do solo podem melhorar a compreensão do funcionamento dos ciclos nutricionais e das estruturas do solo, essenciais para preservação do ecossistema existente na ilha de germoplasma, auxiliando na compreensão da relação entre atributos do solo e as espécies vegetais, bem como, tais fatores interferem na produção de sementes.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo geral

Determinar os atributos químicos e físicos de solos, em diferentes áreas e sob diferentes tipos de manejos da ilha de germoplasma localizada no lago da usina hidrelétrica de Tucuruí, e compará-las aplicando-se os métodos de análise de teste Tukey, análise de componentes principais (PCA) e análise de componentes hierárquicos (HCA).

### 2.2. Objetivos específicos

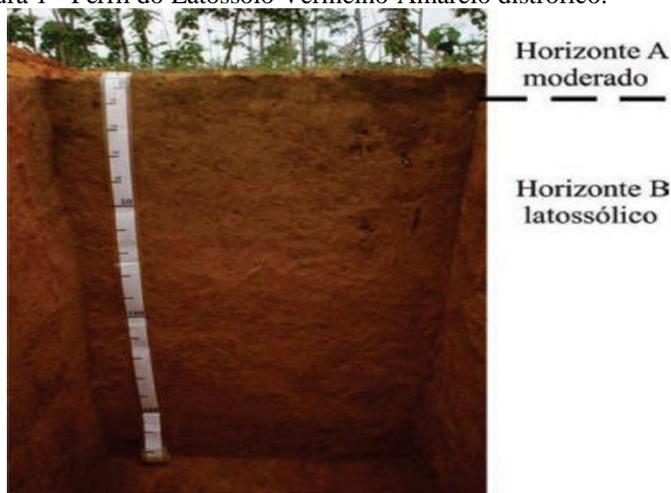
- Quantificar os atributos físicos do solo em diferentes áreas da ilha de germoplasma a partir de análises granulométrica, umidade gravimétrica, condutividade elétrica e suas especificidades de influência no solo.
- Determinar os atributos químicos das diferentes áreas estudadas, dentre os quais: pH H<sub>2</sub>O, KCl e CaCl<sub>2</sub>, carbono orgânico, matéria orgânica, cátions trocáveis Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> trocáveis, carbono orgânico, ferro no extrato sulfúrico, acidez do solo;
- Analisar estatisticamente os resultados obtidos aplicando métodos de *análise de componentes principais* (PCA) e *análise de componentes hierárquicos* (HCA).
- Identificar quais sistemas de plantio de acordo com atributos químicos e físicos do solo melhor proporcionam condições para o desenvolvimento das espécies preservadas na região.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Definição de solo

Santos e colaboradores (2013) definiram a noção de solo como um conjunto de corpos naturais compostos por partes sólidas, líquidas e gasosas formado por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte da camada superficial da crosta terrestre. Estas camadas ou horizontes são resultados dos processos de formação, tais como remoção, transformação e translocação. Esses horizontes são representados pelas letras (H, O, A, E, B e C), da superfície em direção ao material de origem (SANTOS *et al.*, 2013). A Figura 1 representa a formação dos horizontes (A) e (B) latossólico. Na constituição do horizonte (B) latossólico a estrutura pode ser fraca, moderada ou forte, a espessura mínima de 50 cm, chegando no máximo a 300 cm dependendo da espessura do horizonte (A). A textura franca arenosa ou mais fina, apresentando pouca cerosidade, geralmente é constituído por quantidades variáveis de óxido de ferro (IBGE, 2015).

Figura 1 - Perfil do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.



Fonte: IBGE, 2015.

Segundo Primavesi (1988), o material de origem dos solos pode ser uma rocha e dentre os fatores que contribuem para a formação dos solos, destacam-se: o clima, (chuva, vento e temperatura), vegetação de cobertura (matéria orgânica) e relevo (raios solares, água e ações antrópicas). Santos e colaboradores (2013) explicam que a dinâmica dos processos internos do solo depende das propriedades químicas, físicas e mineralógicas.

O solo tem a função de promover o suporte físico e os nutrientes para as plantas, transportar a água, regular os processos naturais do meio ambiente, ciclagem de nutrientes, a diversidade de macro e microrganismos e imobilizar metais pesados. É um ambiente complexo, onde interagem inúmeros processos químicos, físicos e biológicos, os quais estão constantemente em fluxo e são de natureza heterogênea e, frequentemente, de difícil medição (TÓTOLA; CHAER, 2002).

Na Amazônia, em áreas de floresta nativa os latossolos amarelos e argissolos são bastante comuns, são bem desenvolvidos e apresentam boas características físicas, tais como: textura média e macroporosidade, no entanto, possuem baixa capacidade de troca de cátions, acidez muito elevada e deficiência de fósforo (NETO; SANTOS; NETO, 2012). Nestas áreas, a manutenção do solo é garantida pela ciclagem de nutrientes, praticamente fechada, possibilitando apenas a absorção nutricional necessária dos vegetais (FERREIRA *et al.*, 2006). A cobertura florestal, tanto nativa quanto plantada, confere ao solo atributos específicos, contribuindo para um melhor entendimento sobre sua gênese, biodinâmica e conservação (ROVEDDER *et al.*, 2013).

### **3.2. Morfologia do solo**

A morfologia do solo é a descrição da aparência do solo no campo. Tais características são visíveis a olho nu ou perceptíveis por manipulação, permitem distinguir os tipos de solos existentes, e auxiliam na avaliação da capacidade de uso da terra, na compreensão do movimento de água e solutos no perfil do solo e sua resistência à degradação. Dentre as suas características estão à cor, textura, estrutura, consistência e cerosidade (SANTOS *et al.*, 2018). As características morfológicas dos solos, embora estejam associadas a um conjunto de fatores naturais, também sofrem constantes alterações pela ação antrópica. Dessa forma, as condições de manejo impostas no solo podem trazer alterações nas suas propriedades físicas (BATISTA, 2018).

A sequência de horizontes é uma característica morfológica que pode influenciar o potencial de uso do solo. Nesse seguimento, os ensaios morfológicos são essenciais para caracterização dos solos (PEDRON *et al.*, 2009). As características morfológicas, quando

analisadas e devidamente interpretadas juntamente com características físicas, químicas e mineralógicas possibilitam enquadrar um solo em um sistema taxonômico de classificação, identificando ainda suas limitações e qualidades (KRAEMER, 2007).

Na Figura 2 é possível observar as formas, profundidades e espessuras das diferentes camadas do perfil do solo. As classificações dos horizontes são realizadas pela nomenclatura com letras e números arábicos, as letras maiúsculas indicam horizontes principais enquanto as minúsculas são indicadoras das atribuições de diferenças específicas nos horizontes principais e os números são utilizados para subdividir os horizontes principais de acordo com a profundidade. A classificação (Ap) significa horizonte superficial com concentração de matéria orgânica e aração, (E) horizonte com perda de óxidos de ferro e matéria orgânica, (BE) horizonte subsuperficial transicional e (Bt) presença de lamela no horizonte (SANTOS, 2013).

Figura 2 – Perfil do Argissolo Vermelho-Amarelo e morfologia dos horizontes genéticos.



Fonte: IBGE, 2015.

### 3.2.1. Cor do solo

A cor é a principal característica observada em um perfil de solo no campo, é utilizada para identificar e classificar o tipo de solo. A cor do solo reflete a composição de minerais de óxidos e hidróxidos de ferro, o conteúdo de matéria orgânica e a umidade presente no solo, podendo ser uniforme ou heterogênea (BARBOSA, 2016). A comparação entre as cores do solo em ambiente natural e em áreas alteradas permite uma avaliação básica da recuperação dos teores de matéria orgânica e dos problemas de deficiência de drenagem (CARMO, 2018).

A cor do solo serve como parâmetro para avaliação de condições específicas, em solo com cores mais escuras sugere maior concentração de matéria orgânica (Chernossolo). Já em solo com cores amareladas (Argissolo Amarelo) está relacionada com teores de óxidos de ferro hidratado indicando solos mal drenados (TEIXEIRA *et al.*, 2010). Solos com coloração

vermelha-amarelo em floresta ombrófila mista apresentam uma boa infiltração de água em suas camadas, característica de solos bem drenados, devido às excelentes características físicas, bem como, macroporosidade e microporosidade (SOUZA *et al.*, 2018). A diferença entre as cores de chernossolos e argissolos pode ser observada na Figura 3.

Figura 3 - a) Chernossolo Ebânico Órtico; b) Argissolo Amarelo estrófico.



Fonte: Santos *et al.*, 2018.

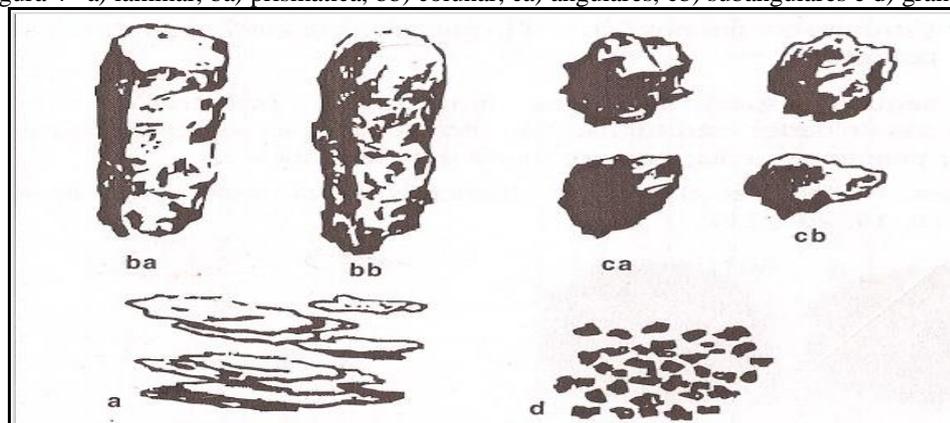
### 3.2.2. Estrutura

A estrutura é a forma como as partículas do solo estão ordenadas (Figura 4), podendo estar separadas ou não por diferentes superfícies. Resulta do processo de formação dos agregados do solo e pode ser avaliada quantitativamente pela distribuição dos agregados estáveis em água sob diferentes diâmetros de peneiras. (MARIA *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2014). A ligação e o arranjo entre as partículas primárias do solo ocorrem por intermédio de diversas substâncias, tais como, a matéria orgânica, óxidos de ferro e alumínio, carbonatos, sílica. A partir desses arranjos formados a estrutura pode ser caracterizada pelo tipo: laminar, prismática, colunar, blocos angulares, blocos subangulares e granular, pelo tamanho: muito pequena, pequena, média, grande e muito grande, e através do grau de desenvolvimento: solta, fraca, moderada e forte (EMBRAPA, 2018).

Entre as características estruturais é interessante ressaltar os tipos de estruturas, a saber: laminar (Figura 4, a) onde as partículas são arranjadas em linhas horizontais, subtipo prismático e colunar (Figura 4, ba e bb) ambas são onde as partículas se arranjam com faces e arestas definidas ao longo do eixo vertical, se diferenciam pelo formato da extremidade que é mais angulado no prismático e mais arredondado no colunar, blocos angulares (Figura 4, ca) têm faces planas com arestas e ângulos agudos, blocos subangulares apresentam faces planas e arredondadas (Figura 4, cb), poucas arestas e ângulos suavizados. Por fim, tem-se a estrutura

granular (Figura 4, d) na qual as partículas estão arranjadas em torno de um ponto com formato arredondado (IBGE, 2015).

Figura 4– a) laminar, ba) prismática, bb) colunar, ca) angulares, cb) subangulares e d) granular



Fonte: Santos *et al.*, 2013.

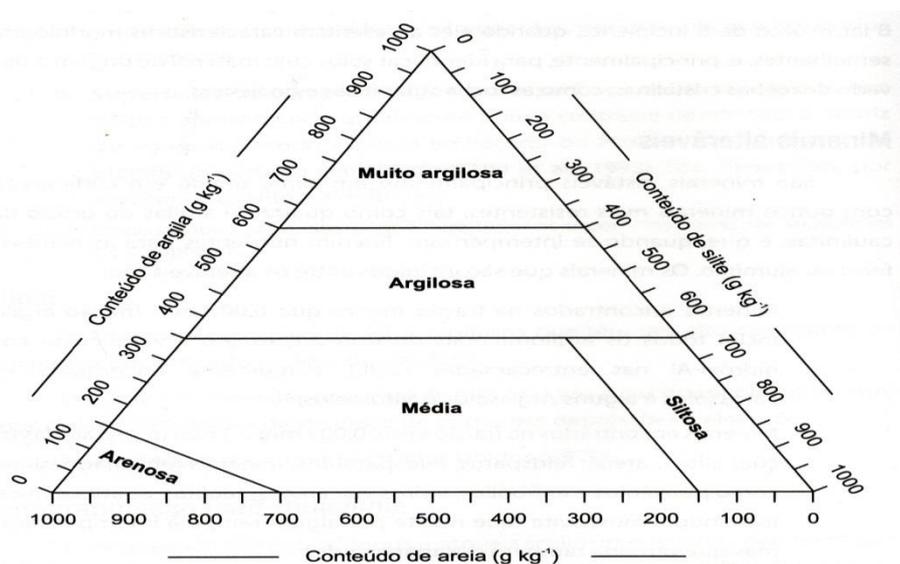
### 3.2.3. Textura

A textura do solo descreve o tamanho das partículas e tem grande influência no comportamento físico-hídrico e químico (NETO *et al.*, 2018). A proporção dos componentes granulométricos areia, silte e argila definem a textura do solo. A fração de areia é constituída pelos grãos minerais de diâmetro no intervalo de 0,05 mm a 0,2 mm, enquanto o silte apresenta grãos minerais de diâmetro entre 0,002 mm a 0,05 mm e por fim, a argila indica um diâmetro máximo de 0,002 mm (SANTOS *et al.*, 2013). O solo pode apresentar combinações e frações de areia, silte e argila em proporções diferenciadas, fazendo-se necessário o agrupamento em classes texturais. Esses agrupamentos são organizados na forma de um triângulo (Figura 5, p.25). Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015) esse triângulo textural organiza os intervalos entre os quantitativos de areia, silte e argila, nas quais definem as diversas classes texturais. O quantitativo de argila no lado esquerdo do triângulo deve se estender em linhas horizontais até os valores do lado oposto. O quantitativo de silte no lado direito do triângulo deve ser demarcado em linhas inclinadas até os valores na parte inferior. E os teores de areia na parte inferior deve se estender em linhas inclinadas até a interseção com as demais.

É importante destacar que a textura do solo tem relação direta com a retenção de água, troca catiônica, fixação de fósforo, nas recomendações de calagem e adubação baseadas em percentuais de argila, na caracterização e classificação de perfis de solos e planejamento conservacionista do uso das terras (NASCIMENTO *et al.*, 2008). Reflete também diretamente na porosidade do solo, a qual é determinada pelo arranjo, comprimento e largura das partículas, isto permite compreender os ambientes com maiores aeração e drenagem. Neste sentido, os

solos arenosos apresentam macroporos, no entanto, solos argilosos possuem em predominância microporos devido à formação de pequenos agregados. Esta relação entre macro e microporosidade é responsável pela capacidade do solo na retenção de água, no crescimento das raízes e na absorção de nutrientes pelas plantas (AGUIAR, 2008).

Figura 5 - Guia de agrupamentos de classes de textura.

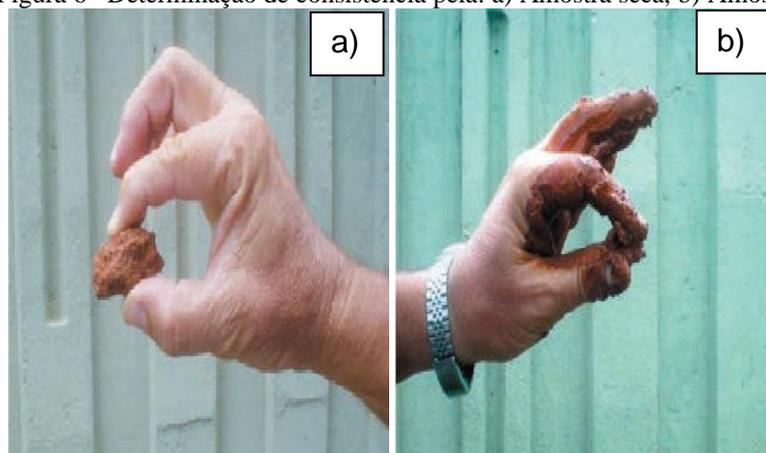


Fonte: Santos *et al.*, 2013.

### 3.2.4. Consistência

A consistência reflete a manifestação das forças físicas de coesão entre partículas do solo e outros materiais, em conformidade com variação da umidade (seco, úmido e molhado) (RIBEIRO, 2016). A consistência do solo pode ser determinada por um ensaio simples. Essa característica exerce uma considerável influência sobre o regime de água, resistência a penetração e compactação (BORGES *et al.*, 2017). De acordo com Assis *et al.* (2009), a consistência está diretamente relacionada com acúmulo de água no solo. No campo, a consistência pode ser observada em três condições de umidade: Consistência seca: permite avaliar o grau de resistência a quebra do torrão; Consistência úmida: corresponde à firmeza do torrão parcialmente úmido; Consistência molhada: a capacidade de moldura do material e de aderência (SANTOS *et al.*, 2018). Como está demonstrado na Figura 6 (p.25).

Figura 6 –Determinação de consistência pela: a) Amostra seca, b) Amostra úmida.

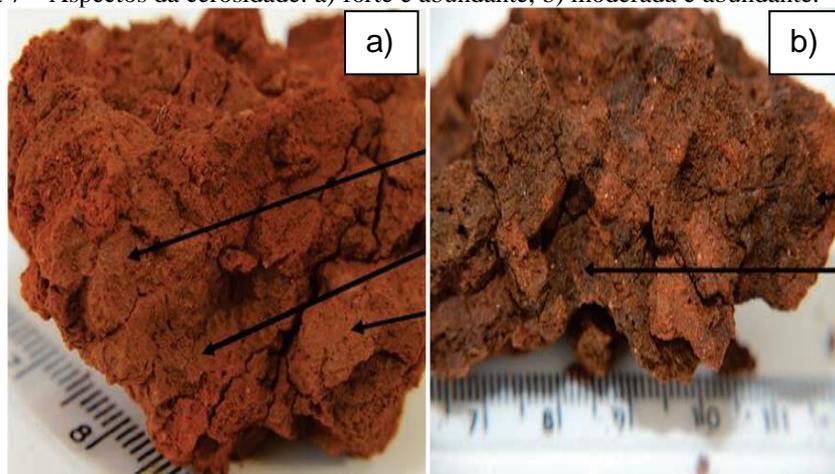


Fonte: Santos *et al.*, 2015.

### 3.2.5. Cerosidade

A cerosidade do solo está correlacionada à concentração de material inorgânico na forma de preenchimento de poros. Resultante do movimento de argilas (iluviação) dos horizontes mais superficiais para os mais profundos apresenta-se macromorfológicamente como películas ou filmes de aspecto lustroso e brilho graxo, similar à cera derretida e escorrida (PEREIRA *et al.* 2019). Segundo Santos *et al.*, (2018) a classificação do solo quanto a consistência pode ser realizada conforme dois aspectos: grau de desenvolvimento: fraca, moderada ou forte; quantidade: pouco, comum ou abundante, como mostra a Figura 7.

Figura 7 – Aspectos da cerosidade: a) forte e abundante, b) moderada e abundante.



Fonte:IBGE,2015.

### 3.3. Atributos físicos do solo

A qualidade do solo é considerada sob três aspectos principais: físico, químico e biológico. O aspecto físico é relevante na avaliação do grau de degradação do solo e na identificação de práticas de uso sustentáveis. Dentre os atributos físicos que estão relacionados à qualidade do solo pode-se citar: textura, granulometria, porosidade e umidade do solo (PARFITT; PINTO; TIMM, 2014).

Os atributos físicos do solo podem sofrer influência natural ou de práticas de uso e manejo do solo. Tais interferências resultam na quebra dos agregados e estruturas do solo (BERTOLLO, 2014). Silva e colaboradores (2015) afirmam que os atributos físicos do solo sofrem interferência dos sistemas de cobertura vegetal, quando a superfície do solo é excessivamente exposta resulta na diminuição do armazenamento de água favorecendo a degradação dos solos pela erosão superficial. Uma forma de melhorar as condições físicas dos solos é através da incorporação de matéria orgânica (BETIOLI JÚNIOR *et al.*, 2012). A interação da matéria orgânica com as partículas primárias do solo induz à formação de estruturas secundárias, além disso, melhora a retenção de água no solo (GUARESCHI; PEREIRA; PERIN, 2013).

Segundo Zaninetti, Moreira e Moraes (2016) as propriedades físicas do solo em áreas de florestas primárias e de plantios de espécies florestais na Amazônia são bastante distintas e variam devido ao tempo de utilização da área, exploração pelas raízes, exposição do solo às condições climáticas, fechamento do dossel, formação e qualidade da serapilheira. Áreas de floresta nativa localizadas em Latossolo Vermelho-Amarelo apresentam macroporosidade mais elevada e por consequência a drenagem do solo nas camadas superficiais é mais eficiente, devido a maior atividade da fauna, edáfica, quantidade e diversidade de raízes (SOUZA *et al.*, 2018). Sendo assim, avaliar os atributos físicos do solo e as relações hídricas é de extrema relevância para entender a dinâmica da floresta Amazônica, uma vez que esta apresenta elevada biodiversidade.

#### 3.3.1. Granulometria

A granulometria é a distribuição em percentagem do peso total das partículas de uma amostra de solo, com base na dimensão das partículas que o constituem. As partículas do solo podem ser separadas em diferentes frações, dentre elas estão as frações de argila possuem dimensões inferiores a 2  $\mu\text{m}$ , silte compreende as partículas de dimensões entre 2  $\mu\text{m}$  e 60  $\mu\text{m}$  e as frações de areia com tamanho que variam entre 60  $\mu\text{m}$  e 2 mm (SANTOS, 2011).A

granulometria é um parâmetro importante para qualidade do solo, pois permite compreender o processo de compactação, deslocamento da água nos perfis do solo, a maneira como as partículas sólidas são transportadas e depositadas e a influência desses critérios no processo erosivo do solo (SILVA; LIMA; ZUCOLOTO, 2011). Também permite estudar o comportamento do solo do ponto de vista de armazenamento de água, uma vez que, o tamanho das partículas e sua conectividade indicam se o solo possui alta ou baixa permeabilidade, pois quanto mais permeável menor será a retenção de água (QUEIROZ, 2011).

Solos com altos teores de areia possuem baixa saturação por bases devido à alta lixiviação. Podem apresentar também baixos teores de matéria orgânica e elevados índices de erosão (SOUSA *et al.*, 2016). Diferente do que acontece em solos argilosos, pois apresentam grande disponibilidade de nutrientes para as plantas e devido às partículas de argila apresentam cargas negativas, atraindo íons positivos (cátions) de sais dissolvidos na água (BARBOSA, 2013). Rodrigues e colaboradores (2016) pesquisaram os atributos do solo de uma área florestal remanescente, demonstraram por meio da análise granulométrica que os solos das subáreas são predominantemente de característica argilosa, apresentando baixos índices de compactação e saturação por bases. Em contrapartida foi identificada a elevada acidez e concentração de alumínio.

### 3.3.2. Umidade do Solo

A umidade do solo é a medida da quantidade de água presente nos espaços entre as suas partículas do solo (poros). Este atributo está diretamente relacionado à processos hidrológicos, tais como: infiltração, escoamento superficial e evapotranspiração (SU *et al.*, 2014). Pode ser compreendida pelo fenômeno de adsorção e capilaridade, entre a massa de solo seco e solo com água. Ao longo dos anos de pesquisa a base de quantidade da umidade era medida pela base gravimétrica e/ou volumétrica. Todavia, com as variações de características de retenção de água no solo, principalmente no que tange a textura e o conteúdo da matéria orgânica e do estado de agregação, por isso, o surgimento da medição da umidade por variações de energia. O potencial de umidade é maior em áreas florestais, por fatores de sombreamentos vegetais e/ou estados energéticos (VASCONCELLOS, 2017).

A umidade do solo é um atributo importante, que pode ser utilizado como indicador de qualidade física. Estudá-lo é fundamental não só para a determinação da resiliência de ecossistemas e sua recuperação, mas também na modelagem da relação entre a água, vegetação e atmosfera (LOPES *et al.*, 2011).

### 3.3.3. Condutividade elétrica

No que tange as variações de condutividade elétrica, esta ocorre pela disponibilidade e distribuição de íons, produzindo a salinidade do solo. De fato, a transposição de íons em maior profundidade dar-se-á de modo mais intensificado nos solos de textura arenosa (FRANCO *et al.*, 2017). Pesquisas sobre a condutividade elétrica no solo são relevantes para conhecer a disponibilidade de nutrientes, os quais são essenciais para o desenvolvimento das espécies vegetais (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

### 3.4. Atributos químicos do solo

Os atributos químicos do solo são importantes para preservação e proteção ambiental pois permitem uma melhor compreensão da dinâmica de liberação dos nutrientes para as plantas e sua conservação (RODRIGUES *et al.*, 2017). Os atributos químicos são fundamentais para a qualidade do solo, pois fornecem informações sobre os nutrientes essenciais para as plantas, elementos retidos e constituintes químicos prejudiciais ao microrganismo e vegetais. Os principais atributos químicos relacionados a qualidade do solo são: pH, capacidade de troca de cátions (CTC), matéria orgânica e carbono orgânico. Tais fatores são fundamentais, pois influenciam diretamente no desenvolvimento de cultivos, sustentação e manutenção de florestas nativas (RAMOS, 2019).

O levantamento dos atributos químicos do solo é considerado vital, pois permite uma avaliação acurada das condições ecológicas em áreas florestais na Amazônia (SILVA; BRANCALION; RODRIGUES, 2017). Lau e Jardim (2014) analisaram a relação entre os atributos químicos do solo e a distribuição e variedade populacional das espécies florestais em áreas do banco de sementes da floresta de proteção ambiental na ilha do Combú, município de Belém, Pará. Os resultados obtidos demonstraram que em área com pH do solo acima de 5, apresentavam maior número de espécies florestais. E que isso ocorre devido à alcalinidade do solo que proporciona uma condição mais favorável para as plantas.

### 3.4.1. Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH do solo corresponde com a concentração de íons  $H^+$  presentes na solução do solo, é um dos principais indicadores de fertilidade e tem influência na disponibilidade de nutrientes (EMBRAPA, 2017). A escala do pH é utilizada para medir a acidez do solo e varia de 0 a 14, com faixa ácida de 0 a 7 e faixa básica ou alcalina de 7 a 14 sendo considerado neutro o valor de 7 (SILVA, 2018).

Em solo com condição reduzida de pH diminui a disponibilidade de micronutrientes tais como: Cl, Mo e Be; macronutrientes  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$  e aumenta a solubilidade de  $Al^{3+}$  na sua forma tóxica para as plantas. Em solos com pH superior a 6,6 ocorre a indisponibilidade de Zn, Cu,  $Fe^{2+}$  e Mn. Por este motivo, a faixa de pH considerada adequada para o crescimento e desenvolvimento das plantas é entre 6,0 e 6,5. Nessa faixa o alumínio tóxico não está presente e a disponibilidade de nutrientes é elevada (PREZOTTI; MARTINS, 2013).

### 3.4.2. Matéria orgânica

A matéria orgânica é formada por resíduos vegetais da parte aérea e radicular das plantas em variados estágios de decomposição, fragmentos de finos de carvão divididos e biomassa presente no solo oriundo de processos naturais (SANTOS, 2018). É um dos fatores que mais influência nos atributos químicos do solo e tem reflexos significativos na estabilidade dos ecossistemas (CARDOSO *et al.*, 2016). Isto se justifica, pois a matéria orgânica está ligada a vários aspectos do ambiente, podendo ser impactada com facilidade pelos sistemas de cultivo nela empregado, o aumento na matéria orgânica pode estar condicionado a uma melhora no transporte e armazenamento de nutrientes, por isto, é um dos principais indicadores da qualidade do solo (COSTA; SILVA; RIBEIRO, 2013). No entanto, em áreas que passaram por grandes processos de usos contínuos, a matéria orgânica encontra-se em baixa quantidade (LEITE *et al.*, 2015). A manutenção ou adição de matéria orgânica no solo aumenta a resistência à erosão e a capacidade de armazenamento de água, aumentando a estabilidade dos agregados e a fertilidade do solo (DALCHIAVON *et al.*, 2014).

### 3.4.3. Carbono orgânico

O carbono orgânico é assimilado ao solo por intermédio da decomposição de resíduos vegetais e animais mortos, além disso, é um componente do ciclo do carbono no sistema solo-planta-atmosfera (COSTA *et al.*, 2008). A maior parte do carbono orgânico está presente na matéria orgânica do solo (FASSARELLA *et al.*, 2012). Por essa razão, a adoção de sistemas de produção que priorizem a conservação e a deposição de matéria orgânica e carbono orgânico contribuem para melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, pois o carbono orgânico favorece a troca catiônica, melhora a resistência do solo, além de ser uma fonte de energia para biomassa microbiana (BARROS, 2013).

Os teores de carbono orgânico são baixos nas camadas mais profundas do solo, já em áreas de florestas primárias, os teores de carbono na sua forma elementar são maiores nas primeiras camadas, onde se acumulam folhas e galhos senescentes das árvores (ROMÃO, 2013). Freitas e colaboradores (2018) examinaram o teor de carbono orgânico nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm nos sistemas naturais e sistemas de cultivo de cana de açúcar e reflorestamento com espécies nativas da região e observaram que os teores de carbono orgânico são maiores nas camadas mais superficiais (0-10 cm) considerando as áreas de matas nativas.

### 3.4.4. Alumínio ( $Al^{3+}$ )

A superfície terrestre apresenta, em sua composição, aproximadamente 7% de alumínio  $Al^{3+}$ , na forma de óxidos de alumínio ou aluminossilicatos; entretanto, sua disponibilidade é extremamente dependente do pH do solo (SOUZA; CAMARGOS; AGUIAR, 2014). O alumínio  $Al^{3+}$  compõe a capacidade de troca catiônica do solo (CTC efetiva) esse cátion é mantido no solo pela argila carregada negativamente e pelas partículas de matéria orgânica por meio da força eletrolítica. O alumínio  $Al^{3+}$  na CTC das partículas do solo é facilmente trocado por outros cátions e, como resultado, fica disponível para as plantas (EMBRAPA, 2017).

O alumínio está presente no solo de maneira natural, a maioria dos solos são ricos em alumínio e o teor deste componente serve como parâmetro para o entendimento do estado nutricional e da necessidade de correção deste solo (GAMA; MELO, 2017). De acordo com Pereira e Ryan (2018), a toxicidade do alumínio ( $Al^{3+}$ ) restringe o crescimento radicular dos solos ácidos. Todavia, embora comum, normalmente mostra-se inofensivo as plantas e ao solo, mas em períodos de deficiência, prejudicam o crescimento.

### 3.4.5. Ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ )

É um dos microelementos principais para as plantas e bastante comum no solo, sua concentração é elevada próximo ao sistema radicular das plantas e tem baixa mobilidade entre as camadas do solo (LANA *et al.*, 2014). O ferro é mais assimilável na forma bivalente ( $\text{Fe}^{2+}$ ), no entanto, também pode ser absorvido na forma de  $\text{Fe}^{3+}$  (GAMA, 2004). Esse microelemento é indispensável na fixação de nitrogênio e transferência de elétrons (ALEXANDRE *et al.*, 2012). Solos com altos teores de óxidos de ferro  $\text{Fe}_2\text{O}_4$  apresentam colorações vermelhas, amarelas e brunadas. Já em solos com cores acinzentadas são observados baixos teores de óxidos de ferro (BOTELHO *et al.*, 2006; IAC, 2017).

### 3.4.6. Bases trocáveis

A soma de bases corresponde ao somatório dos teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio presentes no solo. Indica o número de cargas negativas existentes no solo que estão ligadas a essas bases. É denominada (S), embora essa representação não seja recomendada devido ao enxofre também ser representado pela mesma letra (PREZOTTI; MARTINS, 2013). A soma de bases é calculada a partir da Equação 1 (GARAY *et al.*, 2017).

$$\text{SB} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+ (1)$$

Em que:

SB - soma de bases trocáveis, em  $\text{cmolc.kg}^{-1}$ .

$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$  - Teores de cálcio, magnésio, sódio e potássio trocáveis no solo, respectivamente em  $\text{cmolc.kg}^{-1}$ .

O Cálcio (Ca) é absorvido na forma iônica ( $\text{Ca}^{2+}$ ) da solução do solo. Por ser cátion equivalente bivalente, com nutriente íon sinalizador, mostra-se abundantes em plantas e no solo. Os íons do  $\text{Ca}^{2+}$  são controlados por uma matriz, por canais de transposição. Quando tal transposição é feita de forma deficiente, afeta o crescimento das raízes (JEONG, 2018). Os sintomas de deficiência de ( $\text{Ca}^{2+}$ ) nas plantas são caracterizados pela clorose internerval nas folhas e morte das gemas apicais, com deformações nas pontas e na base das folhas (SIQUEIRA, 2018).

Outro cátion importante no solo é o magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) que na maioria das vezes é maior em solos arenosos quando comparado a solos com elevados acúmulos de argila (WIEND,

2007). Nas plantas, o magnésio constitui o átomo central da clorofila sendo fundamental no processo de fotossíntese, e sua forma de absorção é como íon bivalente positivo ( $Mg^{2+}$ ) (OLIVEIRA, 2010).

Com a intemperização natural dos minerais durante o processo de formação do solo ocorre a liberação de sais solúveis como o sódio ( $Na^+$ ). Esse íon é altamente móvel e solúvel no solo, sendo que fatores naturais induzem diretamente os teores desse elemento no solo e conseqüentemente na planta (RIBEIRO, 2010).

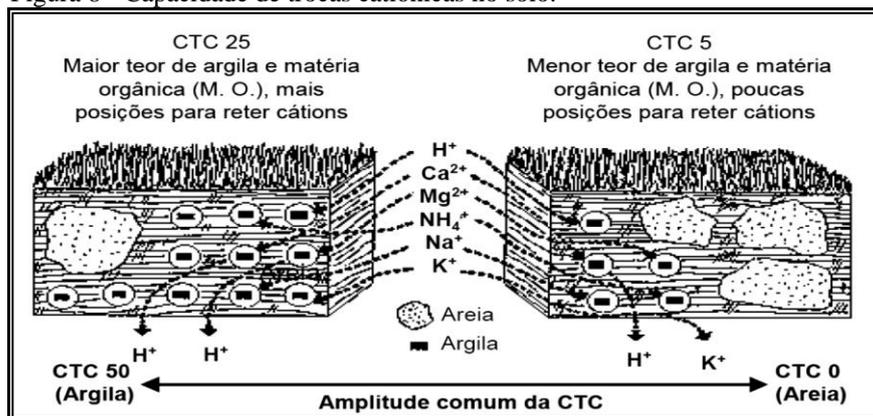
O potássio quando presente na solução do solo pode ser facilmente transportado verticalmente pela lixiviação para as partes mais profundas do perfil do solo, distante do sistema radicular (MARCIEL; ALVES; SILVA, 2015). Para Nascimento e colaboradores (2008), o potássio ( $K^{2+}$ ) tem a sua importância nos processos químicos e biológicos que acontecem nas plantas, suas principais funções são a ativação enzimática, ativação da catálise biológica, regulação osmótica (absorção e perda de água) e promove a síntese do açúcar e sua transferência aos tecidos de armazenamento.

Correlacionar os atributos químicos do solo, principalmente as bases trocáveis, com o crescimento e desenvolvimento das espécies vegetais é muito importante, pois possibilita o melhor entendimento das condições ambientais, seja para produção ou conservação dos ecossistemas. Barreto e colaboradores (2016) estudaram o solo de uma área de floresta ombrófila mista e identificaram que, mesmo em condições de acidez elevada, alta concentração de alumínio e baixa concentração das bases trocáveis a taxa média de recrutamento (1,7%) foi superior à taxa média de mortalidade (1,0%), demonstrando que o fragmento florestal encontra-se em constante processo de recomposição e desenvolvimento.

#### 3.4.7. Capacidade de troca de cátions (CTC)

De acordo com Carneiro e colaboradores (2016), a CTC é de suma importância para a qualidade do solo, pois corresponde à soma dos íons ( $Ca^{2+}$ ), ( $Mg^{2+}$ ), ( $K^+$ ), ( $Na^+$ ), ( $Al^{3+}$ ), e ( $H^+$ ). Estes cátions estão disponíveis para serem trocados por outros cátions, tais como: magnésio, cálcio, sódio ou hidrogênio. Veras e colaboradores (2016) determinaram os atributos químicos do solo de ilhas localizadas no lago da usina hidrelétrica de Tucuruí e identificaram que a capacidade de troca de cátions na superfície (0-20 cm) é mais acentuada em relação às camadas mais profundas do solo. A Figura 8 (p.33) demonstra que solos com maiores teores de argila e matéria orgânica são capazes de reter maior quantidade de cátions, enquanto em solos com maiores quantidades de areia apresentam CTC mais reduzida.

Figura 8 - Capacidade de trocas catiônicas no solo.



Fonte: Lopes; Guilherme, 2004.

A capacidade de troca catiônica (CTC) pode ser obtida através do somatório de cálcio, magnésio, potássio, sódio, hidrogênio e alumínio. Podendo ser calculada de duas formas: quando somada sem o valor de íon de hidrogênio recebe a denominação de CTC efetiva (Equação 2), que corresponde a quantidade máxima de retenção de cátions em valor atual de pH presente no solo. Quando o íon de hidrogênio é incluído no somatório representa a capacidade máxima de troca de catiônica do solo (Equação 3), quando o valor do pH é 7. Esse valor de pH 7 é obtido após a liberação dos sítios de troca da presença de hidrogênio e alumínio (SILVA, 2018).

$$T \text{ efetiva} = SB + Al^{3+} \quad (2)$$

$$T \text{ potencial} = SB + H^+ + Al^{3+} \quad (3)$$

Em que:

T efetiva - capacidade de troca de cátion efetiva no solo, em  $\text{cmolc.kg}^{-1}$

T potencial - Capacidade de troca de cátion a pH 7 no solo, em  $\text{cmolc.kg}^{-1}$

SB - soma de bases trocáveis no solo, em  $\text{cmolc.kg}^{-1}$

$Al^{3+}$  - concentração de alumínio trocável no solo, em  $\text{cmolc.kg}^{-1}$

$H^+$  - concentração de hidrogênio trocável no solo, em  $\text{cmolc.kg}^{-1}$

#### 3.4.8. Saturação por bases

A saturação por bases é a proporção da capacidade de troca de catiônica ocupada com bases. Serve como indicativo das condições fertilidade do solo é utilizado também como complemento na nomenclatura dos solos; em solos eutróficos (férteis) a saturação por bases é igual ou maior que 50%; solos distróficos (pouco férteis) demonstram saturação por bases abaixo de 50%. A saturação por bases (V% ou V), ou seja, a soma das bases trocáveis expressa em porcentagem conforme a Equação 4 (RONQUIM, 2010).

$$V (\%) = \frac{100 \times SB}{T} \quad (4)$$

V (%) – porcentagem de saturação por bases

SB - soma de bases trocáveis no solo, em  $\text{cmolc.kg}^{-1}$

T efetiva - capacidade de troca de cátion efetiva no solo, em  $\text{cmolc.kg}^{-1}$

#### 3.4.9. Acidez do solo

Em termos específicos, a acidez do solo deve ser analisada como acidez ativa, aquela com atividades de íons de hidrogênio em solução, e acidez trocável, potencializada em íons  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$ , retidos na superfície dos coloides, com bases de força eletrostáticas e acidez não trocável, aquela de acidez neutralizada até uma porcentagem de pH (CAMPOS, 2017).

Solos com elevados teores de alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) são considerados ácidos e causam danos às plantas, diminuindo a atividade da enzima redutase do nitrato, responsável por assimilar o nitrogênio, levando a redução das clorofilas e pigmentos cloroplastídicos, essenciais para etapa fotoquímica da fotossíntese (CARLIN *et al.*, 2012).

### 3.5. Análise de variância e teste Tukey

A ANOVA consiste em decompor a variação total das observações do experimento em partes que podem ser atribuídas a causas controladas e em partes a causas não controladas ou não controláveis, o erro ou resíduo, com isto é possível testar diferenças significativas entre médias de classes ou tratamentos (MONTGOMERY, 2001). Existindo diferença significativa

entre as médias pode-se avaliar a magnitude destas diferenças por meio de um teste de comparações múltiplas. Dentre os diversos testes existentes destaca-se o Teste de Tukey, que é frequentemente utilizado em experimentos agrícolas, este permite testar sempre entre duas médias de tratamentos ou efeito (CARDOSO, 2008).

Para avaliar a qualidade do solo em áreas sob diferentes coberturas vegetais Neto *et al.*, (2018), utilizaram as análises de variância e o teste Tukey, e observaram que dentre as áreas florestais o plantio de eucalipto e mimosa apresentaram maiores similaridades e teores de carbono orgânico em relação a floresta secundária na camada de 0-5 cm. Já a floresta secundária e a pastagem proporcionam maior estabilidade dos agregados na profundidade de 0-5 cm.

### 3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

As técnicas de análise estatística multivariada ajudam a explicar a correlação entre as variáveis e descobrir quais delas contribuem mais para a caracterização ou alteração dos atributos do solo (FREITAS *et al.*, 2014). A Análise de Componentes Principais (PCA - *Principal Component Analysis*) e a Análise de Componentes Hierárquicos (HCA - *Hierarchical Cluster Analysis*) são os métodos estatísticos mais utilizados. Tanto o PCA quanto o HCA são considerados métodos não supervisionados de reconhecimento de padrões, nos quais, as amostras não são identificadas previamente (MITSUTAKE *et al.*, 2015).

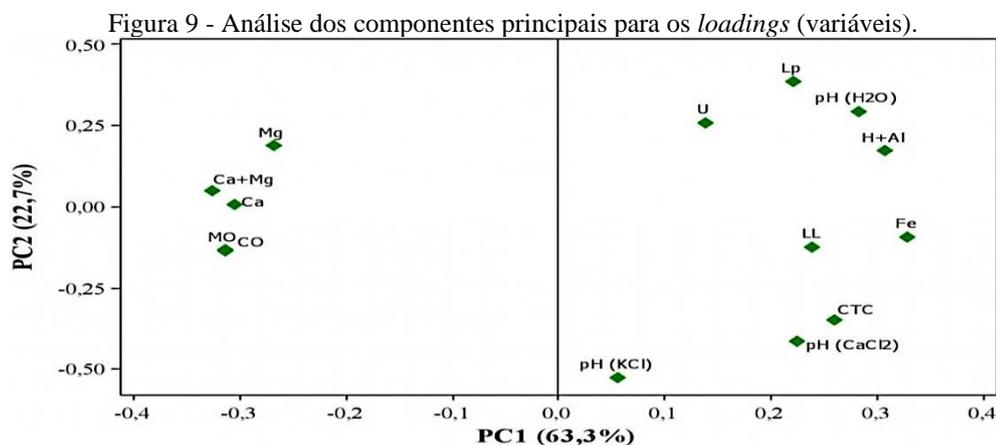
#### 3.6.1. Análise de Componentes Principais (PCA)

A análise de componentes principais (PCA) é utilizada com intuito de diminuir o extenso número de variáveis para um conjunto mais reduzido e mais expressivo, identificando os padrões nos dados e destacando suas semelhanças e diferenças. Esclarece também, quais variáveis estão associadas a quais conjuntos e o quanto cada variável explica cada conjunto (HAIR *et al.*, 2005).

A análise de componente principal é eficiente para auxiliar na identificação de atributos químicos e físicos do solo que são determinantes para o crescimento das plantas (SILVA *et al.*, 2010). Baseado nos atributos químicos e físicos do solo a análise de componentes principais pode-se identificar as diferenças entre sistemas de conservação e cultivo e definir quais atributos mais contribuem para essa diferenciação (FREITAS *et al.*, 2014).

Em estudos realizados por Pavão *et al.* (2018) sobre os atributos físicos e químicos de solos em áreas de mata nativa e pastagem da região do lago da usina hidrelétrica de Tucuruí – Pará, evidenciaram que, a análise estatística de componentes principais (Figura 9, pg.38) demonstra a influência dos atributos físicos e químicos do solo na separação das áreas e que os

teores de carbono orgânico, matéria orgânica, ( $\text{Ca}^{2+}$ ), ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e ( $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ ) foram essenciais para caracterização das mesmas. Apontaram também que através da PCA foi possível observar e compreender as características, diferenças e similaridades das áreas estudadas nas diferentes profundidades.



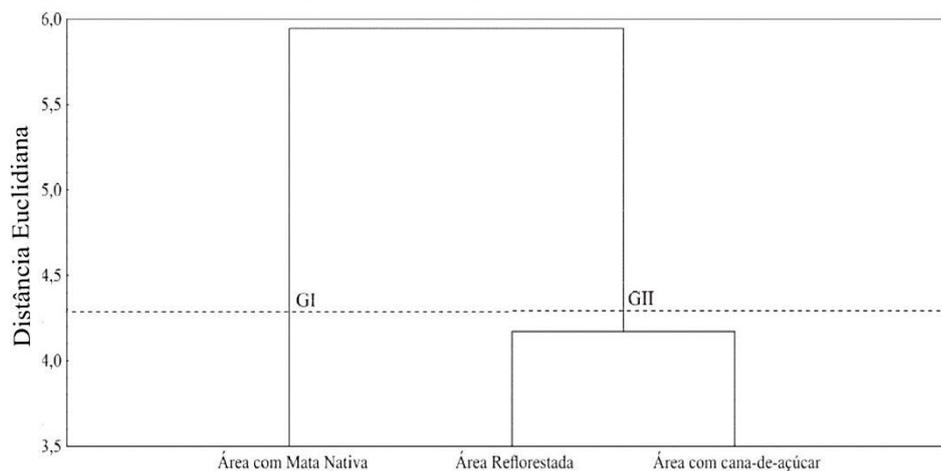
Fonte: Pavão *et al.*, 2018.

### 3.6.2. Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA)

A análise de agrupamento hierárquico se destaca por interpretar as relações entre as características ambientais e seus componentes físicos e químicos e por ser uma análise estatística mais simples e pouco exigente com as características dos dados (SANTOS *et al.*, 2016). Esta análise utiliza o valor padronizado das variáveis para montar um Dendrograma capaz de demonstrar as relações das amostras agrupadas ou variáveis em classes, sua classificação é realizada para encontrar objetos idênticos ou diferentes que se encaixam na mesma classe. Todas essas classes são arranjadas de forma hierárquica na matriz dos coeficientes de similaridades reduzindo assim o conjunto de dados (OLIVEIRA; BRITO, 2019).

Em relação à análise de agrupamento hierárquico Freitas *et al.*, (2014) empregou esta técnica estatística para caracterizar os ambientes, e observou que entre os atributos químicos do solo, o cálcio diferenciou a área de cana, acidez potencial a área de mata nativa, manganês e cobre a área reflorestada. As áreas de cana de açúcar e reflorestada apresentam características químicas parecidas por já terem sido manejadas. Salientaram também que o (HCA) auxiliou na observação da relação entre os atributos químicos do solo e as áreas estudadas (Figura 10).

Figura 10 - Formação dos grupamentos segundo as variáveis pesquisadas.



Fonte: Freitas *et al.* 2014.

### 3.7. QUALIDADE DO SOLO E GESTÃO AMBIENTAL

Para Lal (2015) considerando recursos limitados e poucos insumos, a qualidade do solo é de extrema importância para produzir as funções ecossistêmicas. Por isso, a importância de tal avaliação para o equilíbrio vegetal e animal. O autor ainda ressalta que a qualidade do solo implica uma avaliação importante para o funcionamento de certas propriedades, como: “ecossistêmicos provisionados em solos (por exemplo, alimentos, rações, fibras, moderação climática ciclo C, eliminação de resíduos, filtragem e purificação de água, ciclo elementar)” (LAL, 2015, p. 5880). Os Atributos físicos do solo, como a densidade, porosidade total, granulometria, umidade do solo, tamanho dos poros, são comumente utilizados como indicadores de qualidade física dos solos (STEFANOSKI *et al.*, 2013).

As barragens das hidroelétricas acarretam diversos impactos ambientais nos rios essencialmente à jusante, devido às mudanças no regime da vazão aumentando os processos erosivos e a retenção de sedimentos no reservatório provocando seu assoreamento (JÚLIO JR, 2012).

O deslocamento de sedimentos pode acarretar perturbações nos reservatórios, como a diminuição do volume de água armazenada, formação de bancos de areia dificultando a navegação, a degradação dos ecossistemas aquáticos e impactos nas populações ribeirinhas, entre outras consequências. Além disso, as deposições de nutrientes podem causar a eutrofização da água provocando um crescimento de algas e macrófitas que danificam as turbinas das hidrelétricas (MIRANDA, 2011). Segundo a Agência Nacional de Águas, (2009) existem outros danos causados pelo assoreamento dos reservatórios nas hidrelétricas, dentre

eles destaca-se o abrasamento das turbinas, gerando indisponibilidade forçada das máquinas; a dificuldade de operação das válvulas de descarga e de comportas.

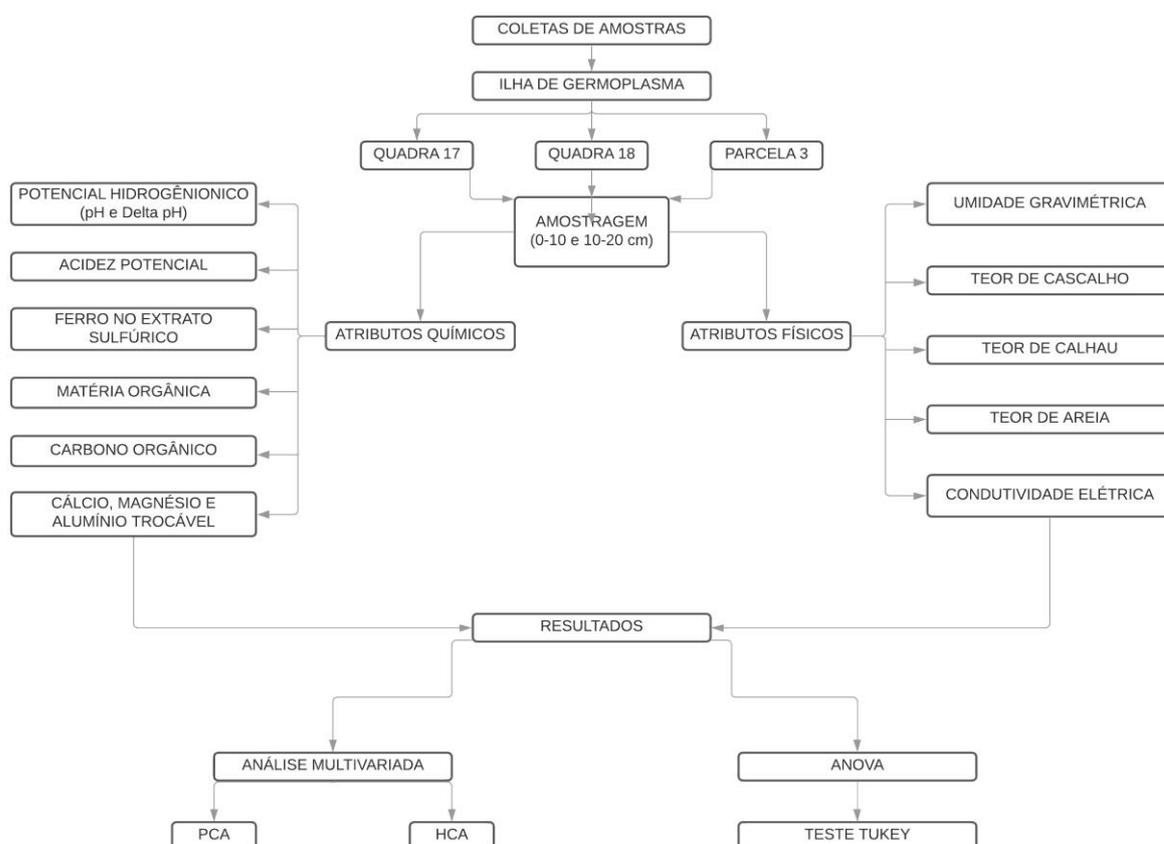
Devido aos impactos ambientais causados nas bacias hidrográficas na Amazônia pode colocar em risco uma diversidade de plantas e animais terrestres e aquáticos, existe a necessidade de uma gestão consciente dos recursos naturais e práticas de preservação, estas ações devem ser usadas a fim de controlar e desenvolver a produção de energia sustentável na região (TUNDIS *et al.*, 2014).

Neste sentido, a gestão ambiental deve estar contida no projeto inicial da obra, percorrendo todas as etapas maximizando os benefícios do empreendimento. Pode também, melhorar suas características estruturais e sua aplicabilidade, reduzindo custos, diminuindo imprevistos e amenizando conflitos sociais (SOUSA, 2000).

#### 4. MÉTODO DA PESQUISA

No Fluxograma 1 estão resumidas as etapas realizadas para o desenvolvimento deste estudo. Inicialmente, foram coletadas as amostras nas áreas selecionadas, em seguida procederam-se os ensaios para determinação dos atributos físicos: umidade em base gravimétrica, teor de calhaus, cascalho e terra fina e condutividade elétrica. Após os tratamentos adequados foram realizadas as análises dos atributos químicos: Cátions trocáveis, ( $\text{Al}^{3+}$ ), ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ), ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e ( $\text{Mg}^{2+}$ ), acidez potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ), ferro no extrato sulfúrico, potencial hidrogeniônico em ( $\text{H}_2\text{O}$ ), ( $\text{KCl}$ ) e ( $\text{CaCl}_2$ ), matéria orgânica e carbono orgânico. Aos resultados obtidos foram aplicados a análise de variância ANOVA, seguido do teste Tukey ( $p < 0,05$ ), análise estatística multivariada: análise de componentes principais (PCA) e análise de componentes hierárquicos (HCA).

Fluxograma 1 – Etapas realizadas para o desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Autor, 2019.

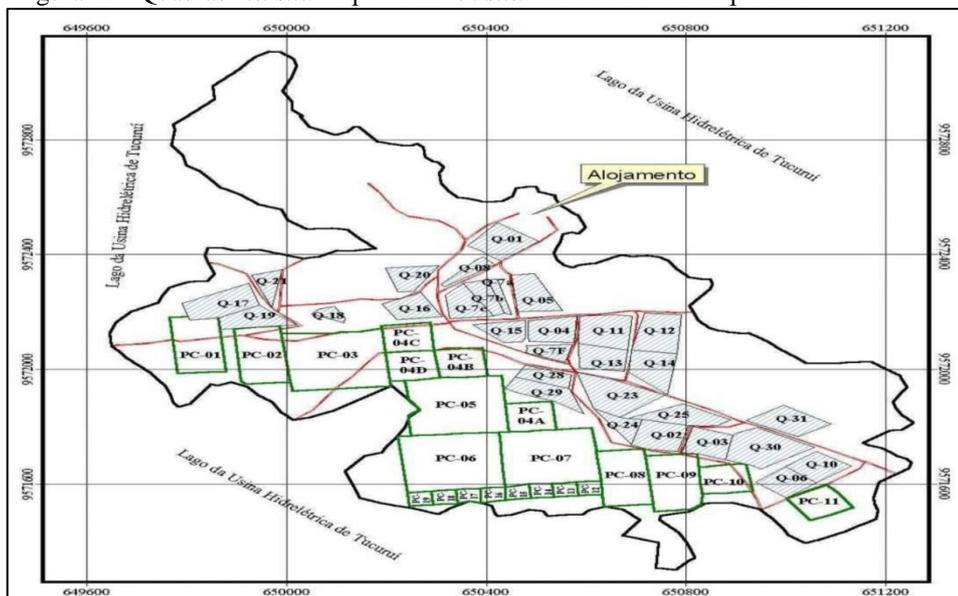
#### 4.1. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

Os solos da região do lago da hidrelétrica de Tucuruí apresentam baixa fertilidade natural. As áreas de terra firmes apresentam características predominantes de Latossolos vermelho-amarelo e Latossolos amarelos nas terras firmes de textura média, são solos profundos e com boa permeabilidade e baixa retenção de água. Nas áreas mais baixas são mais comuns os Gleissolos, com baixa fertilidade e capacidade de drenagem reduzida, apresentam textura franco-argilo-arenosa de natureza caulinitica (RAMALHO *et al.* 2014).

O clima segundo a classificação de Koppen é tropical úmido (amW) e sua principal característica são os elevados índices pluviométricos de 2.400 mm, distribuídos em duas estações bem definidas, período chuvoso de dezembro a maio e período seco de junho a novembro, com temperatura média de 26°C e a umidade relativa do ar superior a 85% (SANCHES; FISCH, 2005; ROSA-JÚNIOR *et al.*, 2015).

A Ilha de Germoplasma está localizada no reservatório da UHE-Tucuruí, Pará, posicionada geograficamente a 3°51'58,3''S e 49°38'25,8''W (BORGES; TAVARES; LISBOA, 2004). Conforme Neto (2007) a ilha de germoplasma tem uma área total de aproximadamente 100 ha está situada a montante do barramento. A área *ex situ* tem 22,6 ha de extensão e é subdividida em 29 quadras de tamanhos entre 0,4 ha e 4,0 ha (Figura 11), 12 quadras foram utilizadas para plantio na floresta (sob sombreamento) e 17 quadras onde foram plantadas cerca de 15.168 mudas sem sombreamento. A área *in situ* tem aproximadamente 32 ha de floresta ombrófila, estas áreas foram assim divididas para facilitar o inventário florestal e a classificação das espécies e o controle ambiental.

Figura 11 –Quadras “*ex situ*” e parcelas “*in situ*” na Ilha de Germoplasma.



Fonte: Adaptado de Neto, 2007.

#### 4.1.1. Parcela 3

A PC3 (*in situ*) foi criada no ano de 2000 e apresenta 40.000 m<sup>2</sup> de extensão. Sua composição vegetal é formada por diversas espécies florestais, principalmente por Paricá (*Schizolobium amazonicum*) e Ucuúba (*Virola surinamensis*). As espécies presentes nessa parcela são bem desenvolvidas e seu arranjo bastante adensado. O solo da PC3 visualmente indica uma cor vermelho escuro, pavimento argiloso e completamente recoberto por uma camada de resíduos vegetais.

#### 4.1.2. Quadra 18

A Q18 (*ex situ*) foi criada no início de 1984, com uma área total de 5.000 m<sup>2</sup> de extensão. Sua composição vegetal é formada pelo plantio de Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) no sombreamento da floresta natural preservada. Não houve qualquer preparo do solo para o plantio das espécies de açaí. Essa palmeira é bem desenvolvida e sua distribuição pouco adensada. Visualmente, o solo da Q18 apresenta uma coloração vermelho escuro, pavimento com presença de argila e areia e parcialmente recoberto por uma camada de resíduos vegetais.

#### 4.1.3. Quadra 17

A Q17 (*ex situ*) foi criada no ano de 1984 com uma área total de 10.000 m<sup>2</sup> de extensão. Sua composição vegetal é formada pelo plantio a pleno sol de Angelim amarelo (*Hymenolobium excelsum*) e Castanheira do Pará (*Bertholletia excelsa*). O Angelim amarelo e Castanheira do Pará são bem desenvolvidos e sua distribuição bem adensada. Para o plantio das espécies florestais houve o preparo do solo com calagem e adubação localizada, não foi informada a quantidade e nem o tipo de adubo e calagem utilizado. O solo apresenta coloração vermelho escuro, pavimento pedregoso e pouco recoberto por resíduos vegetais.

### 4.2. Coleta de amostras de solo

Conforme Silva (2018) as coletas das amostras de solo podem ser obtidas através de amostras deformadas e indeformadas, a escolha da forma de coleta vai depender do objetivo da pesquisa. As amostras também podem ser simples e compostas. A obtenção das amostras pelo método composto é mais empregada por reduzir os custos e pela representatividade.

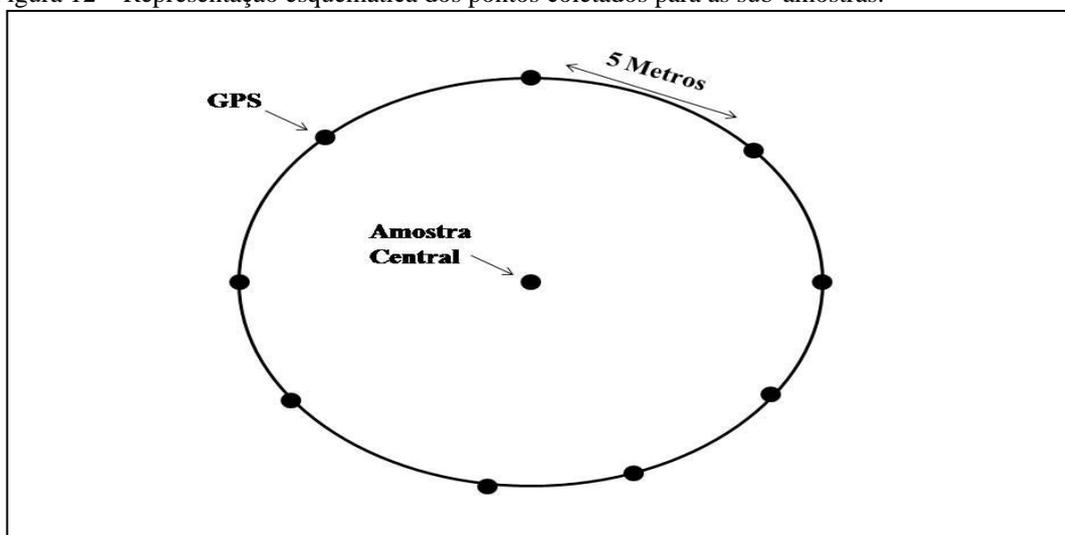
Em relação à profundidade de coleta do solo, é mais indicada a coleta até a profundidade de 20 cm, pois recebem as maiores interferências externas, e onde ocorrem

também os processos de absorção e trocas de nutrientes para a maioria dos vegetais. Nessa faixa do solo são gerados valores que podem ser comparados com as classes de interpretação do solo, uma vez que a maioria das classes foram determinadas na profundidade de 0 a 20 cm (PREZOTTI; MARTINS, 2013).

A coleta das amostras de solo foi realizada no dia 23 de janeiro de 2019. Foram coletadas 60 sub-amostras deformadas, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm. As sub-amostras foram coletadas considerando 1 ponto central e 9 pontos equidistantes.

O comprimento dos pontos adjacentes para o ponto central foi medido com auxílio de trena, a distância máxima foi de 5 metros seguindo a forma de circunferência (Figura 12) para cada área e profundidade da pesquisa (FONTINELE, 2017). Para as localizações geográficas dos pontos de coletas das amostras de solo as coordenadas geográficas foram registradas em GPS (Garmin etrex 20) e estão listadas no Apêndice A (p.85).

Figura 12 – Representação esquemática dos pontos coletados para as sub-amostras.



Fonte: Adaptado de Fontinele, 2017.

No campo, as sub-amostras foram coletadas com o auxílio do trado tipo caneco, as amostras indeformadas foram colocadas em recipientes plásticos identificados com os dados de cada área e profundidade específicos para evitar contaminação das amostras, como mostrado na Figura 13. Em seguida, o solo foi homogeneizado, pesado e as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas, processadas e conduzidas para análises no Laboratório de Química do Campus Universitário de Tucuruí, segundo metodologia da Embrapa (2018).

Figura 13– Amostra coletada com auxílio do trado tipo caneco.



Fonte: Autor, 2019.

### **4.3. Quantificação dos atributos físicos do solo**

As determinações dos atributos físicos do solo foram desenvolvidas de acordo com as técnicas descritas no Manual de Métodos de Análise de Solo. (EMBRAPA, 2018).

#### **4.3.1. Preparo das amostras de solo para os ensaios**

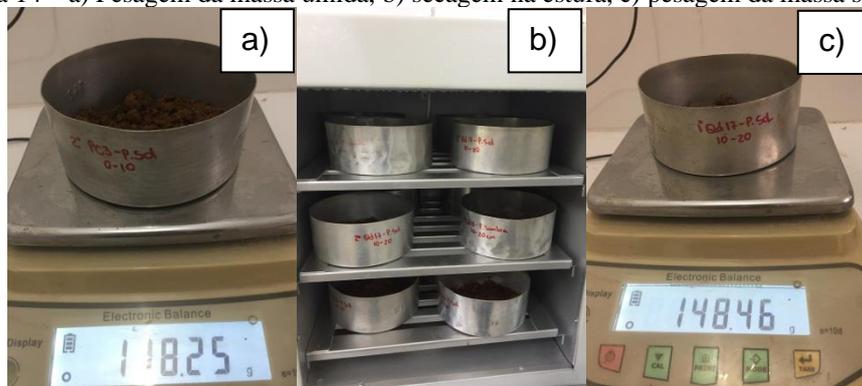
As amostras coletadas foram armazenadas em embalagem impermeável, vedadas e transportadas para o laboratório de química. No laboratório, as amostras foram espalhadas em lona preta para secagem ao ar, foram destorroadas manualmente com auxílio de luvas e retirados os restos vegetais maiores como galhos, raízes e folhas. Após a secagem ao ar, o solo foi peneirado em peneira de abertura de 2 mm, o material passante foi acondicionado para realização dos ensaios.

#### **4.3.2. Umidade em base gravimétrica**

A umidade atual representa o conteúdo de água presente na amostra em determinado momento ou local. Para determinação da umidade em base gravimétrica nas amostras de solo, uma quantidade de solo recém coletado no campo foi colocada em recipiente de alumínio de massa conhecida, em seguida foi pesada e transferida para estufa onde realizou-se a secagem em temperatura entre 105 – 110 °C. As amostras foram secas durante 24 horas e, em seguida,

retiradas da estufa e colocadas em dessecador, para o esfriamento e pesagem (Figura 14). A umidade em base gravimétrica foi determinada de acordo com a Equação 5.

Figura 14 – a) Pesagem da massa úmida, b) secagem na estufa, c) pesagem da massa seca.



Fonte: Autor, 2019.

$$CGA = \left( \frac{a-b}{b} \right) \quad (5)$$

Em que:

CGA – conteúdo gravimétrico de água (umidade em base gravimétrica), em  $\text{kg.kg}^{-1}$ .

a – Massa da amostra úmida, em g.

b – Massa da amostra seca a 105 °C até atingir peso constante, em g.

#### 4.3.3. Calhaus, cascalho e terra fina

As amostras de solo foram separadas em frações, para isso, foram passadas em peneiras de malhas variando de 20,0 mm a 2 mm. A fração denominada de calhau foi constituída por partículas maiores que 20,0 mm e o cascalho entre 20,0 mm e 2 mm, por fim, foi caracterizada a fração denominada terra fina (TF) de tamanho inferior a 2,00 mm. As frações obtidas foram pesadas e os valores anotados. As amostras codificadas com TF foram secas ao ar, quarteadas e as sub-amostras encaminhadas para as análises posteriores.

#### 4.3.3.1. Lavagem dos calhaus e cascalhos

Todas as frações obtidas nas porções de calhaus e cascalhos, foram colocadas em um balde de polipropileno contendo 10 mL de solução de NaOH 1 mol.L<sup>-1</sup>. Adicionou-se água destilada até cobrir todo o material no recipiente. O sistema foi agitado com o auxílio de um bastão uma vez a cada hora e deixou-se em repouso por uma noite. No dia seguinte, a solução foi drenada, despejando-se o conteúdo em peneira de 2mm. Em seguida, o conteúdo foi lavado em água corrente abundante, até a remoção dos resíduos da terra fina que também foram coletados. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa a 105 °C por 24 horas. Após a secagem, realizou-se a pesagem das amostras e os resultados devidamente anotados (Figura 15, p.48), os conteúdos de cascalho, calhaus e terra fina foram calculados através das Equações 6, 7, 8 respectivamente.

Figura 15– a) Amostra seca ao ar, b) Lavagem do conteúdo peneirado, c) Pesagem.



Fonte:Autor, 2019.

Cascalho

$$T_{\text{casc}} = 1000 \cdot \left(\frac{b}{a}\right) \quad (6)$$

Calhaus

$$T_{\text{calh}} = 1000 \cdot \left(\frac{c}{a}\right) \quad (7)$$

Terra fina

$$T_{\text{rf}} = [ 1000 - (T_{\text{calh}}+T_{\text{casc}})] \quad (8)$$

Em que:

$T_{casc}$  – concentração de cascalhos, em  $g\ kg^{-1}$ .

$T_{calh}$  – concentração de calhaus, em  $g\ kg^{-1}$ .

$T_{tf}$  – concentração de terra fina, em  $g\ kg^{-1}$ .

a – massa total da amostra, em g.

b – massa do cascalho, em g.

c – massa dos calhaus, em g.

#### 4.3.4. Condutividade elétrica

Colocaram-se 50 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em um Béquer de 400 mL juntamente com 50 mL de água destilada. A amostra foi homogeneizada e acrescentou-se mais 50 mL de água destilada. Anotou-se a quantidade de água adicionada nesse processo e deixou-se em repouso durante uma noite. Após o repouso, a amostra foi filtrada a vácuo e o líquido obtido (extrato de saturação) foi coletado em um Béquer de 100 mL. Mediu-se a temperatura do extrato de saturação e ajustou-se o condutímetro para essa temperatura. Aferiu-se a leitura com solução de KCl 0,01 M (condutividade de 1,4 mS/cm). Em seguida, lavou-se a célula de condutividade com água destilada três vezes, secou-se e a inseriu no extrato de saturação. Procedeu-se a leitura da condutividade, em mS/cm. O processo para obtenção da condutividade elétrica está demonstrado na Figura 16. Devido à quantidade de TFSA obtido, o ensaio não foi realizado em triplicata.

Figura 16 – a) Sucção do extrato de saturação, b) Leitura da condutividade elétrica.



Fonte: Autor, 2019.

#### 4.4. Quantificação dos atributos químicos do solo

A determinação dos atributos químicos do solo foi desenvolvida de acordo com as técnicas descritas no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 2017).

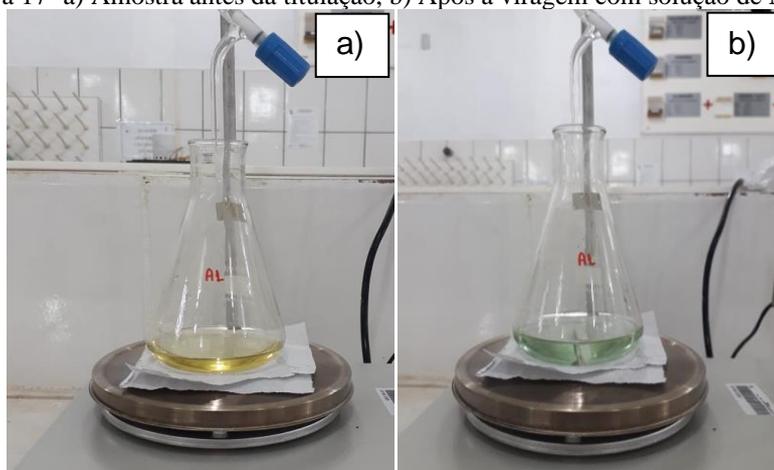
##### 4.4.1. Cátions trocáveis

Pesou-se 10,0 g de terra fina seca ao ar (TFSA), sendo colocado em Erlenmeyer de 125mL, a esse foram adicionados 100 mL de solução de KCl 1 mol.L<sup>-1</sup>. Agitou-se o sistema durante 5 minutos e deixou-se em repouso durante uma noite. Após o repouso, foram separadas três alíquotas de 25 mL da parte sobrenadante (solução extratora), as alíquotas foram utilizadas nas determinações de alumínio trocável, cálcio + magnésio e cálcio trocável.

##### 4.4.1.1. Alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>)

Em uma das alíquotas de 25 mL obtida na extração com KCl 1 mol.L<sup>-1</sup> (item 4.4.1, p.49) foram adicionadas três gotas do indicador azul de bromotimol. Em seguida, titulou-se a amostra com solução padronizada de NaOH 0,0025 mol.L<sup>-1</sup>, até a viragem da coloração amarelo para verde persistente como mostrado na Figura 17. A concentração de alumínio trocável Al<sup>3+</sup> no solo foi determinada pela Equação 9.

Figura 17 -a) Amostra antes da titulação, b) Após a viragem com solução de NaOH.



Fonte: Autor, 2019.

$$Al^{3+} = V.f$$

(9)

Em que:

$Al^{3+}$  – concentração de alumínio trocável no solo, em  $cmolc.kg^{-1}$ .

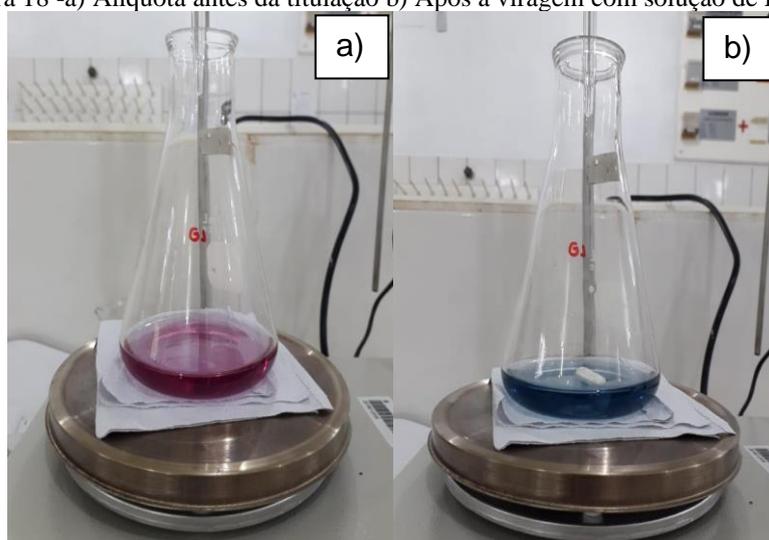
V – volume da solução padronizada de NaOH gasto na titulação, em mL.

f – fator de correção considerando a padronização da solução de NaOH em que  $f = 1$

#### 4.4.1.2. Cálcio + Magnésio trocáveis

Em outra alíquota de 25 mL (item 4.4.1, p.49) foram adicionados 4 mL do coquetel tampão (solução de cianeto de potássio, trietanolamina e solução tampão pH 10 de acetato de sódio). Nessa alíquota, contendo o coquetel tampão, foram adicionados 30 mg de ácido ascórbico sólido e três gotas do indicador negro de eriocromo. Em seguida, foi realizada titulação imediatamente após a adição do indicador, com a solução padronizada de EDTA  $0,0125 mol.L^{-1}$ , até a viragem da cor vermelho-arroxeadada para azul (Figura 18) foram determinados conjuntamente  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ . Foi anotado o volume de solução de EDTA gasto na titulação, a soma dos cátions – cálcio e magnésio trocáveis - foram calculados conforme a Equação 10.

Figura 18 -a) Alíquota antes da titulação b) Após a viragem com solução de EDTA.



Fonte: Autor, 2019

$$[Ca^{2+} + Mg^{2+}] = V.f$$

(10)

Em que:

$[Ca^{2+} + Mg^{2+}]$  – concentração de  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  trocáveis no solo, em  $cmolc.kg^{-1}$ .

V – volume da solução padronizada de EDTA gasto na titulação, em mL.

f – fator de correção considerando a solução padronizada de EDTA  $0,0125 mol.L^{-1}$ .

f – [EDTA pad] – concentração da solução padronizada de EDTA, em  $mol.L^{-1}$ .

#### 4.4.1.3. Cálcio trocável

Na terceira alíquota de 25 mL, adicionaram-se 2 mL de solução de trietanolamina a 50%, 2 mL de solução de KOH a 10% e aproximadamente 50 mg do indicador murexida. Titulou-se com solução de EDTA  $0,0125 M$  até viragem da cor rósea para roxa ou azul. O experimento foi realizado em triplicata. O teor de cálcio trocável foi calculado através da Equação 11.

$$Ca^{2+} = V.f \quad (11)$$

Em que:

$Ca^{2+}$  – concentração de cálcio trocável no solo, em  $cmolc.kg^{-1}$ .

V – volume da solução padronizada de EDTA gasto na titulação, em mL.

f – fator de correção considerando a solução padronizada de EDTA  $0,0125 mol.L^{-1}$ .

f – [EDTA pad] – concentração da solução padronizada de EDTA, em  $mol.L^{-1}$ .

A concentração de magnésio trocável no solo foi determinada através do cálculo da diferença entre os valores de  $(Ca^{2+}+mg^{2+})$  e  $(Ca^{2+})$ , conforme a Equação 12.

$$Mg^{2+} = [Ca^{2+}+Mg^{2+}] - Ca^{2+} \quad (12)$$

Em que:

$Mg^{2+}$  – concentração de magnésio trocável no solo, em  $cmolc.kg^{-1}$ .

$[Ca^{2+} + Mg^{2+}]$  – concentração de  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  trocáveis no solo, em  $cmolc.kg^{-1}$ .

$\text{Ca}^{2+}$  – concentração de cálcio trocável no solo, em  $\text{cmolc.kg}^{-1}$ .

#### 4.4.2. Acidez potencial do solo

Foram pesadas 5 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em Erlenmeyer de 125 mL, adicionaram-se ao recipiente 75 mL de solução de acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$  (pH 7,0). O sistema foi agitado durante 10 minutos em agitador magnético e deixou-se em repouso durante uma noite. Após o repouso foram pipetados 25 mL da solução sobrenadante obtida com acetato de cálcio e transferiu-se para Erlenmeyer de 125 mL. Adicionaram-se três gotas da solução de fenolftaleína e realizou-se a titulação com solução padronizada de NaOH  $0,025 \text{ mol.L}^{-1}$ , a adição da solução de NaOH ocorreu até o desenvolvimento da cor rósea persistente. O procedimento foi realizado com prova em branco para cada série de amostras. A acidez potencial do solo foi determinada a partir do cálculo aplicando-se a Equação 13.

$$(\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}) = (V_a - V_b) \cdot 1,65 \cdot f \quad (13)$$

Em que:

$(\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$  – Acidez potencial do solo, em  $\text{cmolc.kg}^{-1}$ .

$V_a$  – volume da solução padronizada de NaOH  $0,025 \text{ mol.L}^{-1}$  gasto na titulação da amostra, em mL.

$V_b$  – volume da solução padronizada de NaOH  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$  gasto na titulação da prova em branco, em mL.

Valor 1,65 – fator de correção, decorrente das alíquotas tomadas e da extração de apenas 90% da acidez por este método.

$f$  – fator de correção considerando a padronização da solução de NaOH, em que  $f = 0,025 / [\text{NaOH pad}]$ .

$[\text{NaOH pad}]$  – concentração da solução padronizada de NaOH.

Calculando a diferença entre a acidez potencial e o alumínio trocável, obteve-se o hidrogênio extraível do solo, através da Equação 14.

$$\text{H}^+ = (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}) - (\text{Al}^{3+}) \quad (14)$$

Em que:

$H^+$  = Concentração de hidrogênio extraível, em  $\text{cmolc.kg}^{-1}$ .

$H^+ + Al^{3+}$  = Acidez potencial do solo, em  $\text{cmolc.kg}^{-1}$ .

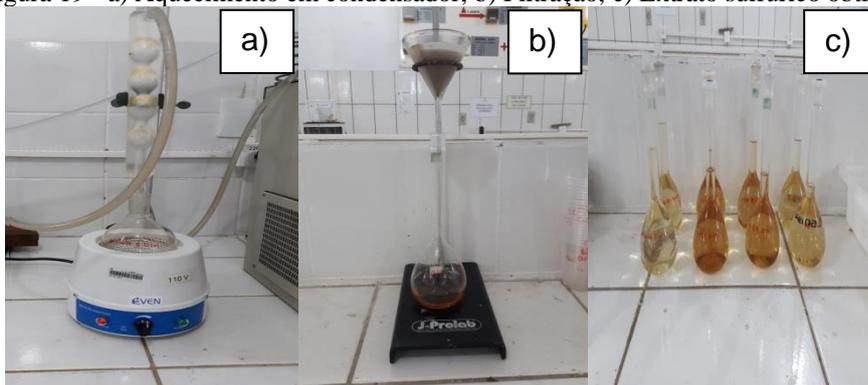
$Al^{3+}$  = Concentração de alumínio trocável do solo, em  $\text{cmolc.kg}^{-1}$ .

#### 4.4.3 Ferro no extrato sulfúrico

##### 4.4.3.1 Ataque sulfúrico

Para realizar o ataque sulfúrico, pesou-se 1 g de terra fina seca ao ar (TFSA) e adicionou-se em Erlenmeyer de 500 mL, nesse foram adicionados 20 mL de ácido sulfúrico diluído 1:1 e aqueceu-se o sistema durante meia hora, utilizando condensador de refluxo para evitar evaporação. Após as soluções esfriarem, foram adicionados 50 mL de água destilada e filtrou-se, transferindo o líquido (extrato sulfúrico) obtido para balão volumétrico de 250 mL. O resíduo foi lavado com água até completar o volume. O extrato sulfúrico obtido foi utilizado para a determinação de ferro. O processo é demonstrado na Figura 19.

Figura 19 - a) Aquecimento em condensador, b) Filtração, c) Extrato sulfúrico obtido.



Fonte: Autor, 2019.

#### 4.4.3.2. Determinação do teor de ferro no extrato sulfúrico

Em um béquer de 30 mL foram pipetados 20 mL do extrato sulfúrico e adicionados 2,5 mL de solução de  $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$  (1:4), aqueceu-se a solução até a fervura, cerca de 3 minutos, para destruição completa da matéria orgânica (desaparecimento da cor escura). Após esfriamento, adicionaram-se 25 mL de água destilada ajustando-se o pH da solução para 1,5. Feita esta operação, foi acrescentado 1 mL da solução de ácido sulfossalicílico 5% como indicador e com soluções aquosa de  $\text{HCl}$  (1:1) e  $\text{NH}_4\text{OH}$  concentrado, aqueceu-se o sistema em chapa aquecedora até temperatura aproximada de 60 °C. Titulou-se com solução de EDTA 0,01  $\text{mol.L}^{-1}$ , observando a viragem de vermelho para amarelo (Figura 20). O ensaio foi realizado em triplicata. A concentração de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total no solo foi determinada pela Equação 15.

Figura 20- Solução com indicador antes da titulação e após a viragem.



Fonte: Autor, 2019.

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = V \cdot 10 \cdot f \quad (15)$$

Em que:

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  – concentração de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total no solo, em  $\text{g/kg}^{-1}$ .

V – volume da solução de EDTA gasto na titulação da amostra, em mL.

f – fator de correção considerando a padronização da solução de EDTA 0,01  $\text{mol.L}^{-1}$ , em que  $f = [\text{EDTA pad}] / 0,01$ .

$[\text{EDTA pad}]$  – concentração da solução padronizada de EDTA, em  $\text{mol.L}^{-1}$ .

#### 4.4.4. Potencial hidrogeniônico – pH

As análises do pH do solo foram realizadas nos seguintes meios: água destilada, solução de KCl e de CaCl<sub>2</sub>. Pesaram-se 10 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em recipiente de plástico de 100 mL e adicionaram-se 25 mL de água destilada. Este mesmo procedimento foi realizado utilizando-se também 25 mL de solução de KCl 1 mol.L<sup>-1</sup> e CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol.L<sup>-1</sup>. Agitou-se a amostra com bastão de vidro individual por 60 segundos e deixou-se em repouso por 1 hora. Após o repouso, a amostra foi homogeneizada com bastão de vidro e mediu-se o pH do meio mergulhando o eletrodo no sistema após agitação (Figura 21). O experimento foi realizado em triplicata.

Figura 21 – Aparelho pHmetro utilizado para determinar o pH em H<sub>2</sub>O, KCl e CaCl<sub>2</sub>.



Fonte: Autor, 2019.

#### 4.4.5. Carbono orgânico

Para a determinação do carbono orgânico foram pesadas aproximadamente 20 g de terra fina seca ao ar (TFSA) e passada em peneira de 80 mesh. Desta fração peneirada pesou-se 0,25 g em Erlenmeyer de 250 mL. Adicionaram-se 10 mL de solução de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,0667 mol.L<sup>-1</sup>. Em seguida colocou-se o Erlenmeyer contendo a amostra de solo e a solução de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,0667 mol.L<sup>-1</sup> sobre a chapa aquecedora até a fervura branda (cerca de 5 minutos). Após a solução esfriar, foram adicionados 80 mL de água destilada e 2 mL de ácido ortofosfórico concentrado e três gotas do indicador difenilamina. Para titulação foi utilizada a solução de sulfato ferroso amoniacal 0,204 mol.L<sup>-1</sup> e anotou-se o volume gasto na titulações. O ensaio foi realizado em triplicata.

A prova em branco foi preparada utilizando-se 10 mL de solução de dicromato de potássio ( $0,0667 \text{ mol.L}^{-1}$ ), 80 mL de água destilada, 2 mL de ácido ortofosfórico e três gotas do indicador difenilamina. Titulou-se com solução de sulfato ferroso amoniacal  $0,102 \text{ mol.L}^{-1}$  até o desaparecimento da coloração azul. O experimento foi realizado em triplicata. A concentração de carbono orgânico do solo foi calculada conforme a Equação 16.

$$C.\text{org} = \frac{-0,003 \cdot V_d \cdot (40 - V_a) \cdot \frac{40}{V_b} \cdot 10}{m} \quad (16)$$

Em que:

C.org – concentração de carbono orgânico no solo, em  $\text{g.kg}^{-1}$ .

Vd – volume total da solução de dicromato de potássio adicionado na digestão da amostra, em mL.

Va – volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra, em mL.

Vb – volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco aquecido, em mL.

Valor 0,003 – mili-equivalente da massa de carbono (peso atômico/valência – 12/4, dividido por 1.000).

Valor 10 – transformação de % para  $\text{g.kg}^{-1}$ .

m – massa da amostra de solo, em g.

#### 4.4.6. Matéria orgânica

Para a determinação da matéria orgânica foram pesadas 5 g de terra fina seca ao ar (TFSA), essa massa de solo foi submetida a maceração em cadinho de porcelana, pesado previamente, e peneirada a 80 mesh. A amostra foi seca em estufa a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  por 24 horas. Após, retirou-se da estufa e deixou-se em dessecador até esfriar. Posteriormente, o cadinho foi pesado novamente e obtida a massa do solo seco. Feito isto, o solo seco ainda contido no cadinho de porcelana, foi levado para mufla à temperatura de  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 6 horas. Após, retirou-se o cadinho que foi acondicionado em dessecador para esfriar. Pesou-se o resíduo (solo incinerado) no cadinho de porcelana frio. O ensaio foi realizado em triplicata e a concentração de matéria orgânica no solo (MO) foi calculada aplicando-se a Equação 17.

$$\text{MOS} = \frac{(\text{Ms} - \text{Mr})}{\text{Ms}} \cdot 1000 \quad (17)$$

Em que:

MOS – concentração de matéria orgânica do solo, em  $\text{g.kg}^{-1}$ .

Ms – massa do solo seco em estufa a 65 °C, em g.

Mr – massa do resíduo após mufla a 600 °C, em g.

#### 4.5. Análises estatísticas

##### 4.5.1. Análise de variância e teste Tukey

A análise de variância iniciou-se com a elaboração da matriz de dados originais nas quais as linhas foram alocadas as amostras das áreas, Q17, Q18 e PC3, e nas linhas as profundidades 0-10 e 10-20 cm. Nas colunas foram inseridos os atributos umidade gravimétrica, Alumínio trocável, Acidez potencial, hidrogênio trocável, Cálcio + Magnésio, Cálcio, Magnésio, Teor de ferro, pH em  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , KCl delta pH, matéria orgânica e carbono orgânico.

Para comparar as médias foi selecionado o teste de Tukey, que é baseado na Diferença Mínima Significativa (DMS) ou  $\Delta$ . A amplitude total estudentizada (q) multiplicando a raiz quadrada do quadrado médio do resíduo (QMRES) dividido pelo número de repetições (r) conforme a equação 17.

$$\Delta = q \frac{\sqrt{\text{QMRES}}}{r} \quad (18)$$

Para o contraste ser significativo, a diferença entre médias deve ser maior do que o valor de  $\Delta$ . Nas Tabelas de resultados, as médias seguidas da mesma não diferem significativamente no teste Tukey com nível de confiança de 95% (CARDOSO, 2008).

#### 4.5.2. Análise multivariada.

A aplicação da análise estatística multivariada iniciou com a elaboração da matriz de dados originais, nas linhas foram alocadas as amostras (*scores*), Q17, Q18 e PC3, e nas colunas as profundidades 0-10 e 10-20 cm. Nas colunas foram colocadas as variáveis (*loadings*), alumínio, cálcio + magnésio, cálcio, magnésio, acidez potencial, hidrogênio extraível, óxidos de ferro, pH em H<sub>2</sub>O, KCl, CaCl<sub>2</sub>, carbono orgânico e matéria orgânica, formando então uma matriz de (6x13) conforme observado no Apêndice B (p.86).

A matriz original foi pré-processada, admitindo-se que todas as variáveis têm igual importância e o método utilizado foi o autoescalamento, que consiste em, para a mesma variável (coluna), o valor original foi subtraído do valor médio ( $\bar{X}_j$ ) e dividido pelo desvio padrão do conjunto de dados ( $\bar{S}_j$ ) conforme Equação 18.

$$\text{Autoescalamento (as)} = \frac{\bar{X}_{ij} - \bar{X}_j}{\bar{S}_j} \quad (19)$$

A partir da matriz de dados autoescalada (Apêndice C, p.87), foi aplicada a análise de agrupamentos hierárquicos (HCA), baseando-se nas distâncias euclidianas calculadas. Para isto, foi adotado o método *ward linkage* para verificar as similaridades entre as variáveis analisadas e as áreas estudadas. O resultado foi apresentado na forma de gráfico denominado Dendrograma. A análise estatística multivariada foi desenvolvida no software Minitab® versão 16.1.1, grátis 30 dias.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Umidade gravimétrica

Os resultados das análises de solo para a umidade gravimétrica estão contidos na Tabela 1, onde foi observado que a PC3 (*in situ*) na profundidade de 0-10 cm obteve o maior acúmulo médio de 0,752 kg.kg<sup>-1</sup>. Isso ocorre em consequência dos altos teores de matéria orgânica (Tabela 10, p.63), que proporciona condições favoráveis para formação dos agregados do solo, favorecendo a manutenção da umidade (GOMES *et al.*, 2014). Em bancos de sementes as variações nos tamanhos e composições das espécies vegetais são bastante influenciadas pela umidade do solo (MAIA *et al.*, 2004).

Tabela 1 - Valores de umidade do solo presente nas amostras.

Área de amostragem	Prof. (cm)	Umidade (kg/kg)
QUADRA 17	0 - 10	0,227D (0,003)
	10 - 20	0,257C (0,001)
QUADRA 18	0 - 10	0,449B (0,006)
	10 - 20	0,448B (0,006)
PARCELA 3	0 - 10	0,752A (0,002)
	10 - 20	0,232D (0,009)

\*Médias seguidas de mesma letra entre as linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os valores entre parênteses representam o desvio padrão de cada amostra.

Os valores de umidade do solo referente à Q17 (*ex situ*) foram baixos nas profundidades de 0-10 (0,227 kg.kg<sup>-1</sup>) e 10-20 cm (0,257 kg.kg<sup>-1</sup>). Essa baixa umidade pode estar relacionada à presença de cascalhos nessas camadas de 0-10 e 10-20 cm (Tabela 2, p.58) aumentando a infiltração da água para as partes mais profundas e diminuindo o acúmulo de umidade do solo. Não foi observada variabilidade significativa dos valores de umidade na Q18 nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm e entre a camada superficial da Q17 e a camada mais profunda da PC3.

## 5.2. Calhaus, Cascalho e Terra Fina

Os resultados das análises de calhaus, cascalho e terra fina estão dispostos na Tabela 2. Consta-se que dentre os tamanhos granulométricos pesquisados o cascalho se apresenta em maior quantidade em todas as áreas da ilha de germoplasma, independente da profundidade. Em conformidade com o plano diretor do município de Tucuruí (2010), que está discriminada no Anexo A (p.89) o solo da ilha de germoplasma é classificado como muito cascalhento, ou seja, predominam frações com diâmetros entre 2 mm a 20 mm.

Tabela 2 – Calhaus, Cascalho e terra fina presente no solo.

Área de amostragem	Prof. (cm)	Calhaus (g/kg)	Cascalho (g/kg)	Terra fina (g/kg)
QUADRA 17	0 - 10	12,50	856,50	131,00
	10 - 20	34,10	802,90	163,00
QUADRA 18	0 - 10	19,80	517,30	462,90
	10 - 20	38,50	556,40	405,10
PARCELA 3	0 - 10	64,30	610,10	325,60
	10 - 20	42,00	669,80	288,20

É importante ressaltar também que as quantidades de cascalho no solo variam entre 517,30 g/kg<sup>-1</sup> a 856,50 g/kg<sup>-1</sup> e a maior quantidade está presente na Q17 (área *ex situ*) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. De acordo com o IBGE (2015), solos com conteúdo de cascalho maior que 500 g/kg<sup>-1</sup> são classificados como muito cascalhento. Em solo com dominância de fração grosseira, por efeito do processo acelerado de infiltração da água, impede que ocorra a remoção das maiorias dos materiais superficiais do solo por escoamento (VIANA *et al.*, 2008).

## 5.3. Condutividade elétrica

Na Tabela 3 são demonstrados os resultados de condutividade elétrica para o solo das áreas da ilha de germoplasma. Observar-se que a PC3, área com floresta natural, obteve as maiores médias nas profundidades de 0-10 (0,330 mS/cm) e 10-20cm (0,272 mS/cm) comparado com as Q18 e Q17 que são áreas plantadas. Conforme Encinas, Teixeira e Lima (2014), quando comparados os solos de floresta primaria e plantio de Dendê a média da condutividade elétrica foi maior na área natural e diminuindo conforme a profundidade. Em palavras mais específicas, os solos que apresentam a condutividades elétrica em valores

elevados tratam que o ecossistema possui um maior nível de nutrientes. Envolve um monitoramento de características do solo, a saber: salinidade, textura e estratificação, umidade, densidade e matéria orgânica e derivados, entre outros (MOLLIN E RABELLO, 2011).

Tabela 3 – Valores da condutividade elétrica no solo.

<b>Área de amostragem</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Condutividade elétrica (mS/cm)</b>
Q17	0 – 10	0,267
	10 – 20	0,248
Q18	0 – 10	0,219
	10 – 20	0,185
PC3	0 – 10	0,330
	10 – 20	0,272

#### 5.4. Alumínio trocável

O alumínio trocável presente no solo amazônico é encontrado naturalmente em grandes quantidades, em razão do alto intemperismo que ocorrem nesses solos, baixas concentrações da saturação por bases e capacidade de troca catiônica (CTC) (MANTOVANELLI *et al.*, 2016). Na Tabela 4 (p.60) constam os resultados das análises de alumínio trocável.

Como pode-se observar na Tabela 4 (p.60), os teores de alumínio no solo da Q18 e PC3 são bem próximos, principalmente nas profundidades de 10-20 cm, onde não houve diferença significativa entre os teores de alumínio nessa camada do solo. Isso acontece devido aos baixos valores de pH no solo (Tabela 8, p.63) das áreas Q18 e PC3. Em solos com presença de acidez ativa elevada, os teores de alumínio trocável também estão em grandes quantidades (FREITAS; SANTOS; OLIVEIRA, 2015). Essas características semelhantes entre as áreas Q18 e PC3 podem ser explicadas pelo fato de a Q18 ser plantada no meio da mata nativa, preservando as condições naturais do solo e seus teores de alumínio trocável e pH do solo.

Tabela 4 –Média aritmética dos valores de alumínio das amostras do solo.

Área de amostragem	Prof. (cm)	Al <sup>3+</sup> trocável (cmolc/kg <sup>-1</sup> )	Acidez potencial (cmolc/kg <sup>-1</sup> )	H <sup>+</sup> (cmolc/kg <sup>-1</sup> )
QUADRA 17	0 - 10	13,59D (0,91)	20,40E (0,25)	6,81D (0,69)
	10 - 20	15,96C (0,23)	26,18D (0,41)	10,21C (0,31)
QUADRA 18	0 - 10	21,87A (0,33)	35,90B (0,09)	14,03B (0,25)
	10 - 20	19,29B (0,40)	27,01D (0,62)	7,71D (0,94)
PARCELA 3	0 - 10	20,08B (0,00)	42,13A (0,38)	22,04A (0,38)
	10 - 20	19,88B (0,05)	34,21C (0,34)	14,32B (0,29)

\*Médias seguidas de mesma letra entre as linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os valores entre parêntese representam o desvio padrão de cada amostra.

Comparando-se os valores observados na área natural PC3 e os valores encontrados na Q17 de 13,59 cmolc/kg<sup>-1</sup> na camada de 0-10 cm e de 15,96 cmolc/kg<sup>-1</sup> na profundidade de 10-20 cm, notam-se os baixos teores de alumínio trocável no solo na área *ex situ*. No entanto, todos os valores de alumínio trocável das áreas *in situ* e *ex situ* estão acima de (0,5 cmolc/kg<sup>-1</sup>), o que excede e muito o valor considerado ideal para evitar a toxicidade das plantas (CARDINS *et al.*, 2015). O alumínio associado ao cálcio em profundidade, pode causar formas desfavoráveis ao desenvolvimento radicular das plantas, valores de cálcio menores que 4,0 cmolc.dm<sup>-3</sup> e de alumínio iguais 5,0 cmolc.dm<sup>-3</sup>. Assim, outros estudos demonstram que o teor de alumínio em níveis elevados pode, provocar um fator não favorável as plantas (BORGES, 2014).

Os resultados obtidos para acidez potencial do solo estão descritos na Tabela 4. Os menores valores da acidez potencial foram observados 20,40 cmolc/kg<sup>-1</sup> no solo da Q17 na profundidade de 0-10cm e 26,18 cmolc/kg<sup>-1</sup> na região de 10-20 cm. Esse comportamento de baixa acidez potencial na área *ex situ* se deve em razão da maior parte da acidez potencial ser formada principalmente pelo Al<sup>3+</sup> em detrimento aos teores de íons de hidrogênio. Esses atributos foram baixos nessa área e profundidade.

De acordo com Silva (2018), a acidez potencial representa o valor total de cargas negativas do solo ocupadas por elementos que podem causar acidez no solo, como alumínio (Al<sup>3+</sup>) e hidrogênio (H<sup>+</sup>). Isso significa de maneira geral que as cargas negativas dos coloides do solo da Q17 (*ex situ*) estão pouco ocupadas com íons alumínio e hidrogênio.

## 5.5. Bases trocáveis

O cálcio e magnésio são cátions que contribuem para formação da CTC do solo. Os resultados analíticos estão apresentados na Tabela 5. As maiores quantidades foram identificadas na Q17, 3,27 cmolc/kg<sup>-1</sup> na profundidade de 0-10 cm e 2,53 cmolc/kg<sup>-1</sup> em 10-20cm. Esses valores encontrados podem estar associados à calagem realizada no período antes do plantio das árvores, com o intuito de aumentar o pH do solo, imobilizar o alumínio trocável e disponibilizar as cargas negativas para os cátions essenciais para o desenvolvimento das mudas plantadas a pleno sol, fornecendo também cálcio e magnésio (GUIMARÃES JÚNIOR *et al.*, 2013). A castanheira do Pará é umas das espécies florestais presentes na Q17. Essa espécie florestal apresenta grande demanda de cálcio para produção adequada de sementes, fazendo com que o solo necessite de altos teores deste cátion (COSTA; TONINI; FILHO 2017).

Tabela 5 - Médias aritméticas dos valores da CTC das amostras do solo.

Área de amostragem	Prof. (cm)	Cálcio+Magnésio Cmolc/kg	Cálcio Cmolc/kg	Magnésio Cmolc/kg
QUADRA 17	0 - 10	3,27A (0,06)	1,43A (0,05)	1,83A (0,11)
	10 - 20	2,53B (0,06)	0,90B (0,10)	1,63B (0,06)
QUADRA 18	0 - 10	0,93E (0,06)	0,30D (0,00)	0,63E (0,06)
	10 - 20	0,63F (0,06)	0,30D (0,00)	0,33F (0,06)
PARCELA 3	0 - 10	1,80C (0,00)	0,60C (0,00)	1,20C (0,00)
	10 - 20	1,17D (0,06)	0,30D (0,00)	0,87D (0,06)

\*Médias seguidas de mesma letra entre as linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os valores entre parêntese representam o desvio padrão de cada amostra.

## 5.6. Teor de ferro no solo

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 6, os maiores teores de óxidos de ferro foram observados nas quadras 17 e 18, os teores foram de 171,33 g/kg<sup>-1</sup> e 150,00 g/kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses valores mais elevados foram observados na camada mais profunda, 10-20 cm. Os menores valores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> no solo foram observados na PC3 nas profundidades de 0-10 (121,00 g/kg<sup>-1</sup>) e 10-20 cm (121,67 g/kg<sup>-1</sup>). Conforme Souza *et al.* (2018), os óxidos de ferro em solos tropicais brasileiros estão associados aos processos pedogenéticos, da mesma forma, servem como indicador de intemperismo no solo. Uma explicação para a Q17 apresentar este intemperismo corresponde ao plantio das espécies florestais em pleno sol, ou seja, o solo permaneceu por um determinado período sem cobertura vegetal para proteger dos efeitos climáticos.

Tabela 6 - Médias aritmética dos valores de ferro no extrato sulfúrico.

Área de amostragem	Prof. (cm)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Extrato Sulfúrico) g/kg <sup>-1</sup>
QUADRA 17	0 – 10	140,00C (0,00)
	10 – 20	171,33A (0,58)
QUADRA 18	0 – 10	123,33D (2,31)
	10 – 20	150,00B (2,00)
PARCELA 3	0 – 10	121,00D (3,61)
	10 – 20	121,67D (4,51)

\*Médias seguidas de mesma letra entre as linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os valores entre parêntese representam o desvio padrão de cada amostra.

Na Tabela 7 são demonstradas as classificações do solo de acordo com os teores de óxidos de ferro. Fazendo um comparativo com os resultados encontrados na Tabela 6, infere-se que a área *in situ* composta pela PC3 e a área *ex situ* constituída pelas Q17 e Q18, são classificadas como solo mesoférrico, isto é, solo com teores médios de óxido de ferro.

Tabela 7 -Classificação do solo de acordo com teores de óxidos de ferro.

Teores de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/kg <sup>-1</sup> )	Classificação
<80	Hipoférricos
80-180	Mesoférricos
180-360	Férricos
>360	Perférricos

Fonte: Adaptado de Silva, 2018.

### 5.7. Potencial hidrogeniônico do solo (pH)

Os valores obtidos da análise do pH em água, cloreto de potássio e cloreto de cálcio estão representados na Tabela 8 (p.63). Silva (2018) explica que o pH em água é bastante utilizado devido representar as condições naturais do solo. Por sua vez, o pH em cloreto de cálcio é empregada em razão de sua capacidade de encontrar ácidos fracos. O pH em cloreto de potássio oferece resultados que não são influenciados pela variação do conteúdo dos eletrólitos no solo.

O  $\Delta\text{pH}$  é calculado a partir da diferença entre os valores de pH em KCl e pH em H<sub>2</sub>O ( $\Delta\text{pH}=\text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$ ). Quando o  $\Delta\text{pH}$  é positivo, o solo tem uma capacidade de troca iônica alta, no entanto, se for negativo este solo tem uma capacidade de troca catiônica considerável, isto significa que estas cargas negativas podem ser ocupadas pelas bases, sendo de grande importância para o solo quanto para as plantas (CASTIONE et al. 2015). Neste sentido,

considerando os valores obtidos na Tabela 8, as áreas *ex situ* e as áreas *in situ* possuem  $\Delta$ pH negativo no solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, ou melhor, os valores de pH em KCl são menores que os encontrados em pH em H<sub>2</sub>O. Isso significa que em todas as áreas estudadas, a capacidade de troca catiônica pode ser realizada, ou seja, apesar do manejo, o solo mantém a capacidade de troca entre as cargas negativas pelas bases.

Tabela 8 - Determinação dos valores de pH em CaCl<sub>2</sub> das amostras do solo.

Área de amostragem	Prof. (cm)	pH			$\Delta$ pH
		CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	KCl	
QUADRA 17	0 - 10	4,09A (0,01)	4,91A (0,03)	3,93B (0,03)	-0,97D (0,02)
	10 - 20	4,02B (0,01)	4,80B (0,04)	3,89C (0,01)	-0,91D (0,04)
QUADRA 18	0 - 10	3,86D (0,01)	4,34E (0,01)	3,85D (0,01)	-0,49A (0,01)
	10 - 20	3,94C (0,00)	4,48D (0,04)	3,93B (0,00)	-0,54AB (0,05)
PARCELA 3	0 - 10	3,95C (0,01)	4,53CD(0,04)	3,91BC (0,01)	-0,61BC (0,03)
	10 - 20	3,97C (0,00)	4,61C (0,05)	3,97A (0,00)	-0,63C (0,03)

\*Médias seguidas de mesma letra entre as linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os valores entre parêntese representam o desvio padrão de cada amostra.

Prezotti e Martins (2013) apresentaram uma classificação de acidez do solo de acordo com os valores de pH em meios de água e cloreto de cálcio, como está disposto na Tabela 9.

Aplicando os valores para classificação do solo utilizando os valores dos resultados de pH em água e cloreto de cálcio (Tabela 8) às áreas *ex situ* (Q18 e Q17) e *in situ* (PC3) nas profundidades de 0-10 a 10-20 cm, concluiu-se que a acidez do solo nessas áreas está classificada como elevada. Em áreas de floresta nativa e áreas de reflorestamento nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm possuem de forma natural valores de pH muito baixo e por consequência uma acidez elevada (FAJARDO; SOUZA; ALFAIA, 2012; ROCHA *et al.*, 2013).

Tabela 9 - Valores de classificação de pH em água e CaCl<sub>2</sub>.

Elemento	Unidade	Acidez		
		Elevada	Média	Fraca
pH em água	g/kg	< 5,0	5,0 - 5,9	6,0 - 6,9
pH em CaCl <sub>2</sub>	g/kg	< 4,5	4,6 - 5,5	5,6 - 6,5

Fonte: Adaptado de Prezotti; Martins 2013.

### 5.8. Matéria orgânica e carbono orgânico

Os teores de matéria orgânica e carbono orgânico do solo foram superiores nas áreas Q18 e PC3 em relação a Q17 nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm (Tabela 10). Esse teor elevado nas áreas Q18 e PC3 pode estar relacionado a maior diversidade e adensamento das plantas o que proporciona um constante acréscimo de resíduos vegetais nas camadas superficiais do solo, elevando os teores de matéria orgânica e conseqüentemente de carbono orgânico em área de mata nativa (GUIMARÃES *et al* 2012; FREITAS;CASAGRANDE; OLIVEIRA, 2015).

Tabela 10 - Resultados dos teores de carbono orgânico e matéria orgânica.

Área de amostragem	Prof. (cm)	MO g/kg	CO g/kg
QUADRA 17	0 - 10	129,84D (1,11)	18,54E (0,06)
	10 - 20	108,70E (1,12)	20,63D (0,34)
QUADRA 18	0 - 10	157,91C (6,97)	25,38C (0,42)
	10 - 20	218,26A (5,71)	30,46B (0,23)
PARCELA 3	0 - 10	187,28B (4,06)	35,93A (0,06)
	10 - 20	176,59B (3,24)	36,18A (0,28)

\*Médias seguidas de mesma letra entre as linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os valores entre parêntese representam o desvio padrão de cada amostra.

Os teores de matéria orgânica foram maiores na profundidade inicial em comparação a camada mais profunda. A Q18 obteve resultados diferentes entre as duas camadas do solo. Isso pode ocorrer devido aos baixos valores encontrados na Tabela 8 (p.63) de pH em água (4,34), cloreto de potássio (3,85) e cloreto de cálcio (3,86), este comportamento foi observado na atual pesquisa na profundidade de 0-10 cm da Q18. De acordo com Machado *et al.* (2014), a acidez elevada seguida pelo alto teor de alumínio trocável do solo faz com que a decomposição da matéria orgânica fique limitada.

No que se refere aos teores de MO e CO na PC3, não houve diferença significativa entre as médias desses atributos nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Conclui-se que a decomposição dos resíduos vegetais no perfil inicial do solo da área *in situ* é mais equilibrada.

### 5.9. Análise de Componentes Principais (PCA)

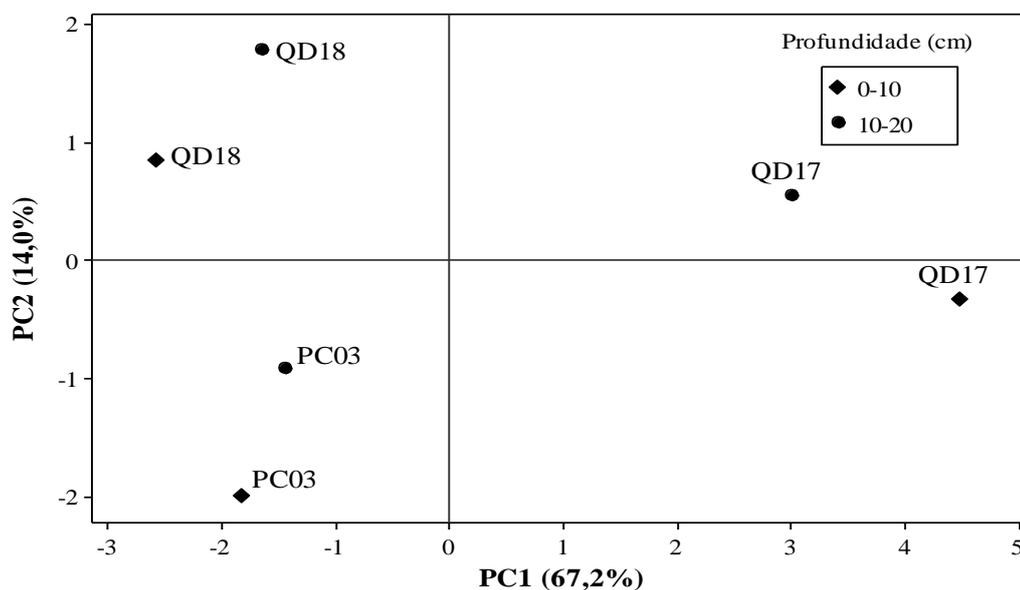
Na Tabela 11 são apresentados a porcentagem de informações das variâncias em relação a cada componente principal e a variância total acumulada com uma, duas e três componentes principais. Destaca-se que a PC1 descreve 67,2 %, a PC2 14,0 % e PC3 13,3 %. Somando as três componentes principais (PC1, PC2 e PC3) é possível explicar 94,6 % da informação total do conjunto de dado original, com apenas 5,4 % das informações perdidas.

Tabela 11 - Variância e variância total em relação às Componentes Principais.

PC's	Variância (%)	Variância total (%)
1	67,2	67,2
2	14,0	81,3
3	13,3	94,6

No Gráfico 1 é possível observar a separação ou proximidade das áreas – QD18, PC03 e QD17 (*scores*), baseada nas variáveis – atributos (*loading*) que mais contribuíram, conforme mostra o Gráfico 2 (p.66) e Apêndice D (p.88). A primeira componente principal (PC1) descreve a maior porcentagem de informação do conjunto de dados, contendo 67,2 % da informação e separa as áreas da ilha de germoplasma à esquerda e à direita do gráfico. Os atributos químicos do solo que mais contribuíram na separação das áreas foram  $\Delta\text{pH}$  (-0,333),  $\text{Al}^{3+}$  (-0,332) e  $\text{pH H}_2\text{O}$  (0,323). Na segunda componente principal (PC2) que descreve 14,0% da informação do conjunto de dados que separa as áreas na parte superior e inferior, os atributos que mais contribuíram na distinção das áreas na parte superior e inferior do gráfico foram  $\text{H}^+$  (-0,534),  $\text{Fe}^{2+}$  (0,410) e AP (-0,379).

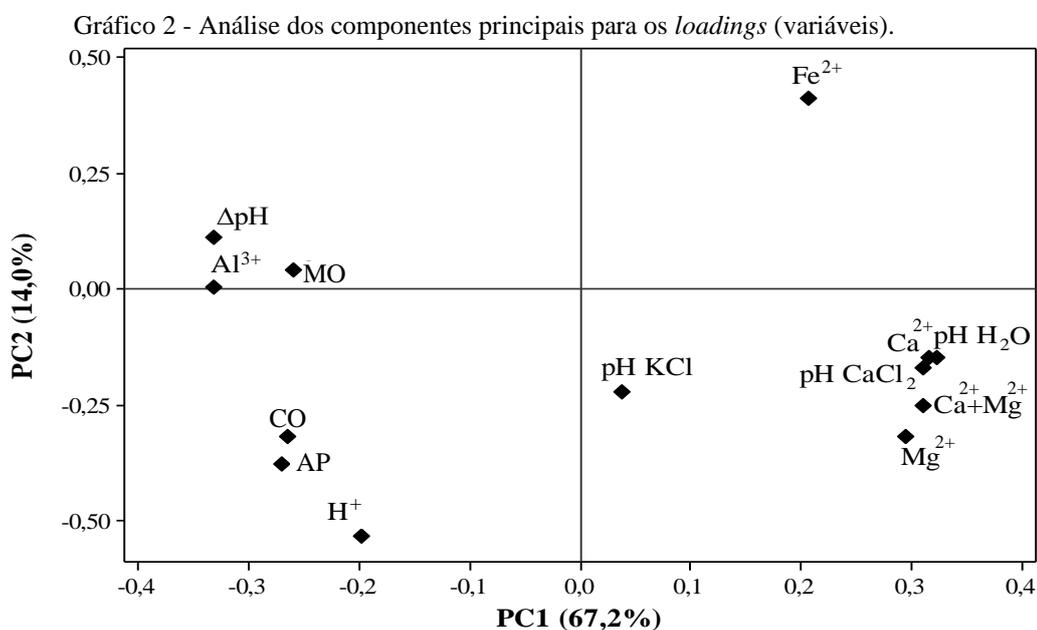
Gráfico 1 - Separação das áreas em quadra 17, quadra 18 (*ex situ*) e parcela 3 (*in situ*).



No Gráfico 1, na primeira componente principal (PC1), observou-se a formação de dois grupos, os quais apresentam maiores semelhanças dentro de cada grupo. O primeiro grupo composto por PC3 e Q18 (à esquerda), mesmo que esses ambientes sejam áreas com sistema de manejo diferente, (*in situ*) e (*ex situ*) respectivamente. Para esse grupo, o que pode ter influenciado nessa similaridade é que a Q18 foi plantada no sombreamento das árvores da floresta nativa PC3, preservando algumas características químicas do solo antes do plantio.

O segundo grupo (à direita) é formado pelas profundidades 0-10 e 10-20 cm da Q17. Entende-se que devido à área onde o plantio foi realizado ser uma área aberta onde ocorre o manejo de plantio; e pelo fato de o reflorestamento ser realizado com apenas duas espécies florestais o Angelim Amarelo (*Hymenolobium excelsum*) e a Castanheira do Pará (*Bertholletia excelsa*) tais fatores influenciaram diretamente nos atributos químicos do solo. O solo da Q17 tem altos teores de cálcio e magnésio essencial para o desenvolvimento das espécies plantadas, no entanto, apresenta-se bastante intemperismo e com baixo teor de matéria orgânica na qual é muito importante para CTC do solo.

Para diminuir o intemperismo e contribuir para CTC do solo de maneira natural, pode ser implementada uma técnica com plantio de puerária (*Pueraria phaseoloides*) entre as árvores de Angelim Amarelo (*Hymenolobium excelsum*) e a Castanheira do Pará (*Bertholletia excelsa*) na Q17, pois, melhora a fertilização do solo principalmente de nitrogênio, e a adubação verde com os restos vegetais desta leguminosa aumentam os teores de matéria orgânica e carbono orgânico melhorando a qualidade do solo da Q17 (RODRIGUES *et al.* 2016).

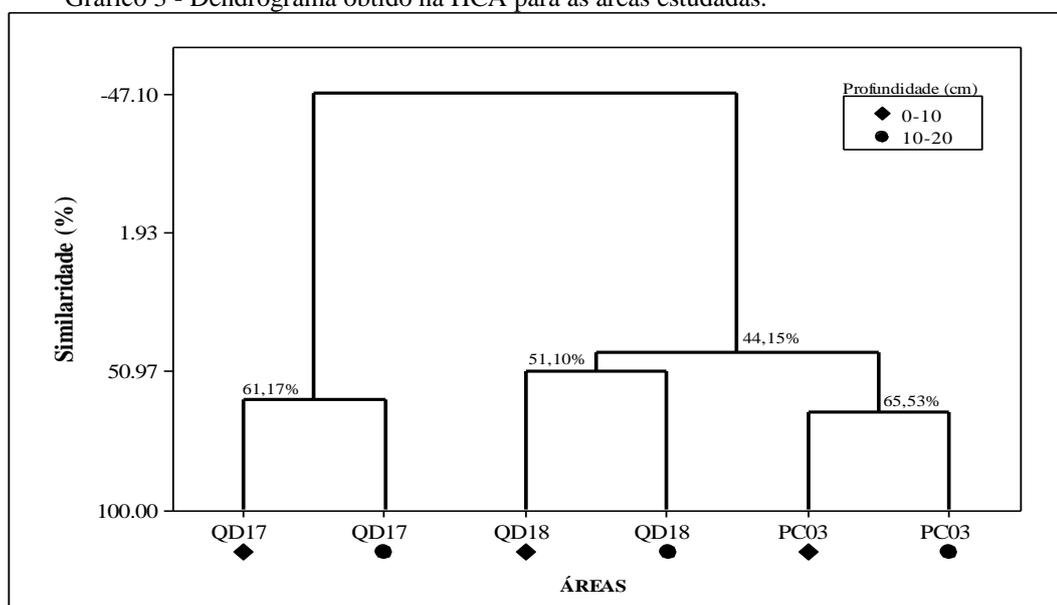


### 5.10. Análise de Componentes Hierárquico (HCA)

A partir da análise por HCA foi elaborado o Gráfico 3, conhecido como Dendrograma, apresenta no eixo x as áreas com suas respectivas profundidades e no eixo y o índice de similaridade. Entre as duas profundidades da Q18 (*ex situ*) e as da PC3 (*in situ*) observa-se a formação de um único *cluster* com similaridade de 44,15 %, sendo distinto da Q17 nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Isso demonstra que o sistema de plantio por sombreamento é menos impactante para os atributos químicos do solo e para as espécies florestais a serem inseridas na ilha de germoplasma. Esse sistema aliado as boas condições nutricionais do solo e à seleção adequada das espécies florestais locais que mais se adéquam ao sombreamento, pode ser a solução para melhorar a produção de sementes e evitar a mortalidade das espécies florestais originárias da região de enchimento do reservatório.

Conforme Souza *et al.* (2010), algumas espécies florestais como jatobá (*hymenaea courbaril*) apresentam maior taxa de crescimento e sobrevivência em plantio a pleno solo. O açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) apresenta maior taxa de perfilhamento (produção de mudas) quando plantado em área de sombreamento (AGUIAR, 2013). Em áreas degradadas, onde os atributos físicos e químicos estão alterados quando comparados com a região de floresta nativa, é necessário a correção imediata destes parâmetros no sentido de reduzir as taxas de mortalidades das espécies florestais (CARNEVALI *et al.*, 2016).

Gráfico 3 - Dendrograma obtido na HCA para as áreas estudadas.



Os agrupamentos observados na Análise de Componentes Hierárquicos (HCA) representados no Dendrograma (Gráfico 3) estão baseados na distância euclidiana calculada a partir da matriz de dados padronizada dos atributos químicos do solo, segundo descrito no Apêndice C (p.87). As distâncias euclidianas calculadas e demonstradas na Tabela 12 podem auxiliar na confirmação da similaridade entre as áreas pesquisadas. Partindo desse pressuposto, as distâncias menores correspondem às áreas similares entre si e as distâncias maiores implicam em ambientes distintos.

O *cluster* com maior similaridade foi observado na PC3 ( $d=2.5812$ ) entre as profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Essa semelhança entre os atributos químicos do solo na PC3 foi observada nos resultados obtidos no teste de Tukey. Pois, não houve variabilidade significativa na maioria dos resultados encontrados nas profundidades da PC3. Esse resultado da análise de agrupamento hierárquico (HCA) corrobora com o comportamento dos atributos químicos do solo observado na Análise de Componente Principal (PCA).

Tabela 12 - Distância euclidiana entre as áreas, calculadas a partir da matriz padronizada.

<b>ÁREAS</b>	<b>Quadra 17 (0-10 cm)</b>	<b>Quadra 17 (10-20 cm)</b>	<b>Quadra 18 (0-10 cm)</b>	<b>Quadra 18 (10-20 cm)</b>	<b>Parcela 3 (0-10 cm)</b>	<b>Parcela 3 (10-20 cm)</b>
<b>Quadra 17 (0-10 cm)</b>	0	2.9069	7.4852	6.6364	6.6754	6.159
<b>Quadra 17 (10-20 cm)</b>	-	0	5.8956	5.4754	5.5843	5.3586
<b>Quadra 18 (0-10 cm)</b>	-	-	0	3.6613	3.4578	3.9546
<b>Quadra 18 (10-20 cm)</b>	-	-	-	0	4.2368	2.9557
<b>Parcela 3 (0-10 cm)</b>	-	-	-	-	0	2.5812
<b>Parcela 3 (10-20 cm)</b>	-	-	-	-	-	0

## 6. CONCLUSÃO

A PC3 é uma área preservada de floresta nativa (*in situ*) apresentou as melhores condições quando analisados os atributos químicos e físicos. Os resultados observados indicaram que o solo está mais conservado devido à concentração mediana de cascalho, alta umidade do solo, elevada condutividade elétrica e os teores acentuados de matéria orgânica.

Apesar da Q17 ter obtido os maiores teores de cálcio e magnésio, posteriormente, como potencial manejo de recuperação do solo, o uso de leguminosas forrageiras incrementa matéria orgânica através dos restos vegetais das plantas e o nitrogênio por meio da fixação do nitrogênio atmosférico realizados pelas nitrobactérias presentes no solo. Esse manejo com forrageira pode contribuir com manutenção das espécies florestais e aumentar a produção de sementes desta área.

A partir dos resultados químicos e físicos e aplicando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade e a análise estatística multivariada foi possível observar similaridade entre as áreas (*in situ*) PC3 e área (*ex situ*) Q18 plantio por sombreamento em relação à Q17 área (*ex situ*) plantio a pleno sol. Somado a isso a Q18 proporciona melhores condições de qualidade do solo podendo ser determinante para a manutenção e desenvolvimento das espécies vegetais e reprodução de sementes.

Através dos resultados da *Análise de Componentes Principais* (PCA) foi possível visualizar a contribuição dos atributos químicos do solo na caracterização das áreas da ilha de germoplasma. Os atributos químicos que mais contribuíram na distinção ou semelhança entre as áreas foram:  $\Delta\text{pH}$  (-0,333),  $\text{Al}^{3+}$  (-0,332) e  $\text{pH H}_2\text{O}$  (0,323),  $\text{H}^+$  (-0,534),  $\text{Fe}^{2+}$  (0,410) e AP (-0,379).

A análise estatística multivariada demonstrou ser uma boa ferramenta para o diagnóstico da fertilidade do solo, pois as informações obtidas na atual pesquisa podem auxiliar na manutenção das espécies florestais *in situ* e *ex situ* e produção de sementes, que é o objetivo do projeto banco de germoplasma.

## SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

De acordo com os resultados e a experiência obtida na atual pesquisa e as dificuldades relatadas para manutenção e desenvolvimento do projeto de preservação e propagação das espécies vegetais existentes na região da UHE-Tucuruí, seguem abaixo recomendações para continuidade das pesquisas relacionadas à ilha de germoplasma.

Coletar e analisar mais áreas plantadas em sombreamento (*ex situ*), para obter uma variabilidade das espécies de interesse para reprodução.

Pesquisar e correlacionar os atributos químicos do solo com a quantidade de sementes produzidas (seja em kg ou número de sementes) em cada espécie florestal, o que é essencial para manutenção do projeto banco de germoplasma.

Realizar as análises de fertilidade do solo no laboratório da EMBRAPA Amazônia oriental para obter os resultados completos da CTC do solo e as análises complementares no laboratório de química em Tucuruí.

Coletar e analisar camadas mais profundas do solo como, 20-30 e 30-40 cm para conhecer a translocação vertical mais profunda dos nutrientes essenciais para as espécies florestais.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual de Estudos de Disponibilidade Hídrica para Aproveitamentos Hidrelétricos**. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/cedoc/Catalogo/2009/ManualdeEstudosdeDisponibilidadeHidrica.pdf> Acessado em: 20 de janeiro de 2019, 45.f, 2009.
- AGUIAR, A, G, R; **Manejo de População de Açaizeiro (*Euterpe oleracea Mart.*) em parcelas de produção de fruto em área de várzea**, 95 f 2016. Dissertação (Mestrado Agriculturas Amazônicas) Universidade Federal do Pará, 2013.
- AGUIAR, M, I. Qualidade física do solo em sistemas florestais. Dissertação (Mestrado em Solos e nutrição de Plantas), **Universidade Federal de Viçosa**, 89.f, 2008.
- ALEXANDRE, J. R; OLIVEIRA, M, L, F; SANTOS, T, C; CANTON, G, C; CONCEIÇÃO, J, M; EUTRÓPIO, F, J; CRUZ, Z, MA; DOBBSS, L, B; RAMOS, A, C. Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo. **Natureza online**, Santa Tereza, v.10, p.23-28, 2012.
- ANDRADE, L, K , F; D`ANDREA, A,F; ROLIM,H,O; LEITE,E,P,F; RODRIGUES, G,C; Atributos de fertilidade relacionados à qualidade do solo em mata e área desmatada na bacia do rio cuia, em João Pessoa, PB; **Controle Ambiental, CONNEPI**, Palmas- TO, 2012.
- ANSARE, A.; FLYVBJERG, B.; BUDZIER, A.; LUNN, D. *Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development*. **Energy Policy**, v.69, p.43-56, 2014.
- ARAÚJO, A, R, O; ROCHA, M, G. Unidades de Conservação em Tucuruí/PA como instrumento de Gestão Territorial, **IV Encontro Nacional da ANPPAS**, p.1-20, v.4, 2008.
- ARAÚJO, E, A; KER, J, C; NEVES, J,C,L;LANI,J,L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação, **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarupava-PR,v.5,n.1,p.187-206, 2012.
- ASSIS, R, L; LAZARINI, G, D; LANÇAS, K, P; FILHO, A, C. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água, **Engenharia Agrícola**, v.29, n.4, p.558-568, 2009.
- AVILAR, L,F; MELLO,C,E; SILVA,A,M. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira, **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande- PB, v.14, n.12,p.1257-1266,2010.
- BALDOTTO, M, A; VELLOSO, A, C, X. Eletroquímica de solos modais e de sua matéria orgânica em ambientes tropicais, **Revista Ceres**, Viçosa, v.61, n.6, p.1012-1021, 2014.
- BARALOTO, C; RABAUD, S; MOLTO, Q; BLANC, L; FORTUNEL, C, HÉRAULT, B, DÁVILA, N, M, I; RIOS, M; VALDERRAMA, E; FINE, P.V.A. *Disentangling stand and environmental correlates of aboveground biomass in Amazonian forests*. **Global ChangeBiology**, v. 17, p.2677–2688, 2011.
- BARBOSA, G, S. **Uso de atributos do solo na identificação de limites para preservação de Veredas no Mato Grosso do Sul**.2016. Dissertação (mestrado em agronomia) – UNESP – Campus de Ilha Solteira.

BARBOSA, J.S; CARDUCCI, C.E; KOHN, L.S; SILVA, K.C.R; SILVA, E.A; SANTOS, KL. Eletroquímica e carbono orgânico de um cambissolo húmico no planalto catarinense sob sistema agroflorestal, **Revista Scientia Agraria**, v. 17 n.2, Curitiba, p.49-56, 2016.

BARBOSA, V. **Estudo do comportamento geotécnico de um solo argiloso de Cabrobó, potencialmente expansivo, estabilizado com cal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, 111.f, 2013.

BARBOSA, V; GARCIA, P, B; RODRIGUES, E, G; PAULA, A. Biomassa, carbono e Nitrogênio na Serapilheira Acumulada de Floresta Plantadas e Nativas. **Floresta e Ambiente**, ISSN 2179-8087 (online), 2017.

BARRETO, T, G; NETTO, S, P; CORTE, A, P, D; RODRIGUES, A, L; SANQUETTA, C, R. Influência das características químicas do solo na dinâmica de crescimento de um fragmento florestal, **Magistra**, v.28, n.1, p.1-12, 2016.

BARROS; J; D; S. Contribuições da matéria orgânica do solo para mitigar as emissões agrícolas de gases de efeito estufa. *Polêmica*, v. 12, n. 2, p. 341-351, jun. 2013. ISSN 1676-0727. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/6436/4862>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

BATISTA, M. Estudo morfopedológico de uma topossequência de solos no município de Terra Roxa-PR. Dissertação (Mestrado em Geografia), **Universidade Federal do Oeste do Paraná**. 91.f, 2018.

BERTOLLO, A, M. Propriedades físicas de um latossolo após calagem, gessagem em manejos de solo. 99f 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Agricultura e Ambiente) – **Universidade Federal de Santa Maria**. 2014.

BETIOLI-JÚNIOR, E; MOREIRA, W, H; TORMENA, C, A; FERREIRA, C, J, B; SILVA, A, P; GIAROLA, N, F, B. Intervalo Hídrico Ótimo e Grau de Compactação de um Latossolo Vermelho Após 30 Anos Sob Plantio Direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.36 p.971-982, 2012.

BORGES, A. L. I; TAVARES, A. C. C; LISBOA, R. C. L. Briófitas da Ilha de Germoplasma, reservatório de Tucuruí, Pará, Brasil. **SCIELO**, v.18, n.3, p.689-692, 2004.

BORGES, C, S. Interação fósforo-silício-flúor em materiais de solo oxidico e uso benéfico de subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados na soja. 138 f. 2018. Dissertação (Mestrado em qualidade Ambiental) - **Universidade Federal de Uberlândia**. 2018.

BORGE, F, O; SILVA, S, A, S; CAMPOS, Y, O.; LEÃO, F, M. Atributos químicos do solo da mata ciliar do igarapé santos, em Tucuruí-PA. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19; p. 2014. Disponível: em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014b/AGRARIAS/determinacao%20dos%20atributos.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2020.

BORGES, M, J, S; VALE, F, A; VAGETE, J, M, R; FILHO, O, G, S; CATIVO, T, R. Determinação e Análise da Consistência do Solo Para Pavimentação da Avenida Anysio Chaves em Santarém-PA. **CONTECC**, Belém-Pa, Anais Eletrônicos, 2017.

BOTELHO, M. R.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; AZEVEDO, A. C.; RODRIGUES, R. B.; MIGUEL, P. Medida da cor em solos do Rio Grande do Sul com a carta de Munsell e por colorimetria. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.36, n.4, p.1179-1185, 2006.

BRANDÃO, S, L; LIMA, S, C, Ph e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de pinus e cerrado na Chapada em Uberlândia- MG, **Caminhos da Geografia, UFU**, Uberlândia-MG, p. 46-56, 2002.

CARDINS, W.A; OLIVEIRA, J.D; SANTOS, J.J. S; ROCHA, R.B; NASCIMENTO, B.L.M; MIRANDA, N.R; PEREIRA, R.S. Estudos físico e químicos do solo de área natural e antropizada da cidade de Cajapió-Ma baixada maranhense. **8º Encontro Nacional de Tecnologia Química Realizado** em Vitória/ES, de 09 a 11 de Setembro de 2015. ISBN: I S B N 9 7 8 - 8 5 - 8 5 9 0 5 - 1 3 - 2 V i t ó r i a , E S , p . 1 - 2 . Disponível em <<http://www.abq.org.br/entequi/2015/trabalhos/50/50-8045-21307.html>>. Acesso em 20 de out. 2019.

CAMPOS, D. V. B. de; TEIXEIRA, P. C.; PEREZ, D. V.; SALDANHA, M. F. C. ACIDEZ POTENCIAL DO SOLO. In: **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

CARDOSO, N, A. Métodos estatísticos para análise de dados de contagem de ácaros rajados e teores foliares de nutrientes em pomares de pessegueiro.2008. 149f. Dissertação (Mestrado em produção vegetal). **Universidade Federal do Paraná**, Paraná, 2008.

CARDOSO, E, L; SANTOS, S, A; URBANETZ, C; FILHO, A, C; NAIME, U, J; SILVA, M, L, N; CURTI, N. Relação entre solos e unidades da paisagem no ecossistema Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1231-1240, 2016.

CARLIN, S. D.; RHEIN, A. F. de L.; SANTOS, D. M. M. dos. Efeito simultâneo da deficiência hídrica e do alumínio tóxico no solo no cultivar IAC91-5155 de cana-de-açúcar. **Ciências Agrárias, Londrina**, v.33, n.2, p.553-564, 2012.

CARMO, D,A,B; Dados Espectrais dos Solos do Centro-oeste Paulista por meio de sensores próximos, Tese (Doutorado em Agronomia), **Universidade Estadual Paulista**, 2018.

CARNEIRO, J. S. S. Et. Al. Diagnóstico da Variabilidade Espacial e Manejo da Fertilidade do Solo no Cerrado. **Revista Scientia Agraria**. v.17 n.3, p.38-49, 2016.

CARNEVALI, N,H,S; SANTIAGO,E,F; DALOSO,D,M; CARNEVALI, T,O; OLIVEIRA,M,T, Sobrevivência e crescimento inicial de espécie arbóreas nativas implantadas em pastagem degradada, **Floresta**, Curitiba-PR, v.46, n.2, p.277-286, 2016.

CASTIONE, G, A, F; SOUZA, Z, M; DA SILVA, R, B, CAMPOS, M, C, C. Variabilidade de atributos físicos e crescimento de raízes do feijoeiro sob irrigação por pivô central. **Revista Ciências Agrárias**, v.58, n.1, p.58-68, jan./mar. 2015. Disponível em <<http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/rca.1550>> Acesso em 16 de set. 2019.

CAVALCANTE J. A. D. C; PEREIRA, R. S; BALIEIRO, A. B; GARCIA, P. H. M. O ensino de solos: a interdisciplinaridade na sequência didática, **Revista Interdisciplinar**, p.60-68, 2016.

CENTRAIS ELETRICAS DO NORTE DO BRASIL. **Manual do sistema de gestão ambiental UHE - Tucuruí**. Disponível em: [http://www.eletronorte.gov.br/opencms/export/sites/eletronorte/pilares/meioAmbiente/sistemaGestao/MANUAL\\_DO\\_SISTEMA\\_DE\\_GESTAO\\_AMBIENTAL\\_UHE\\_TUCURUx.PDF](http://www.eletronorte.gov.br/opencms/export/sites/eletronorte/pilares/meioAmbiente/sistemaGestao/MANUAL_DO_SISTEMA_DE_GESTAO_AMBIENTAL_UHE_TUCURUx.PDF), acessado em: 21 de janeiro de 2019, 34.f, 2018.

COSTA, E, M; SILVA, H, F; RIBEIRO, P, R, A. Matéria Orgânica do Solo e o seu Papel na Manutenção e Produtividade dos Sistemas Agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia: **Centro Científico Conhecer**. v.9, n.17, p.1842-1860, 2013.

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

COSTA, M, G; TONINI, H; FILHO, P, M. Atributos do Solo Relacionados com a Produção da Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*). **Floresta e Ambiente**. 2017, vol. 24. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S217980872017000100145&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S217980872017000100145&script=sci_abstract&tlng=pt)> Acesso em 25 de set. 2019.

CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. de J. M.; BRASIL, E. C. (Ed.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará. 1. ed. rev. atual. Belém, PA: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2010. 262 p.

CRUZ, N, N, L; VALLADARES, G, S; SOARES, I; CAMARGO, O, A. Distribuição espacial da qualidade dos solos da capta-frutas em Jundiáí, São Paulo, **Revista Equador**, v.7, n.2, p.147-161, 2018.

DALCHIAVON, F, C; CARVALHO, M, P; RAFAEL MONTANARI, R; ANDREOTTI, M; DAL BEM, E, A. Inter-relações da produtividade de cana soca com a resistência à penetração, umidade e matéria orgânica do solo. **Revista Ceres, Viçosa**, v. 61, n.2, p. 255-264, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, ed.3, 210.p, 2017.

ENCINAS, O, C; TEIXEIRA, W,G; LIMA, W,A,A, pH e condutividade elétrica da solução do solo em dendezaís e floresta primária da Amazônia Brasileira, **Sociedad Peruana de la ciencia del suelo**, Cusco, Perú, 2014.

FASSARELLA, K, M; SIMÃO, J, B, P; LIMA, W, L; PELUZIO, J, B, E. Caracterização quali-quantitativa da matéria orgânica do solo. **Revista Verde**, v.7, n.5, p. 18-30, 2012.

FEARNSIDE, P, M. Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras. **Editora do INPA**, Manaus, v.2, 288.f, 2015.

- FERNANDES, R, S; MACIEL, S; PIETROBOM, M, R. Licófitas e Monilófitas das Unidades de Conservação da Usina Hidroelétrica - UHE de Tucuruí, Pará, Brasil, **Hoehe**, v.39 p.247-285, 2012.
- FERREIRA, S, J, F; LUIZÃO, F, J; MIRANDA, S, A, F; SILVA, M, S, R; VITAL, A, R, T. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira, **Acta Amazônica**, v.36, p. 59–68, 2006.
- FILHO, A, A, F; **A elevação da cota do reservatório hidráulico da UHE Tucuruí e seus efeitos sobre a população da RDS Alcobaça (PA)**. 149f 2010. Dissertação (Mestrado Gestão dos Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia) - **Universidade Federal do Pará**. 2010.
- FONTINELE, G, A. **Atributos físicos e químicos do solo de terra firme na reserva florestal Adolpho Ducke, Manaus-AM**. 2017. Dissertação (mestrado em Ciências e Meio Ambiente do Instituto de Ciências Exatas e Naturais) – Universidade Federal do Pará – Belém-PA.
- FORNASIER, M, O; ROGERIO, M, S. Sociedade de Consumo e demanda por energia elétrica: construção de hidrelétricas no rio Uruguai como reflexo do consumismo. **Juris Poiesis**, Rio de Janeiro- RJ, v.21, n.25, p.121-146, 2018.
- FRANCO, E, M; MIRANDA, J, H; DUARTE, S, N; DIAS, N, S; JUNIOR, C, J, B; FERNANDES, C, S. Percolação de solutos em solo fertirrigado por gotejamento, utilizando extratores de solução. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, nº.1, p.1180 - 1190, 2017.
- FREITAS, J, L; SANTOS, E, S; OLIVEIRA, F, A; Avaliação de atributos químicos do solo em ambientes de terra firme e várzea no município de Santana, Amapá, **Biota Amazônia**, Macapá- AP, v.5, n.4, p.27-33, 2015.
- FREITAS, L; CASAGRANDE, J, C; OLIVEIRA, I, A. Atributos Químicos de Latossolo Vermelho Submetido a diferentes Manejos, **Floresta**, Curitiba-PR, v.45, n.2, p.229-240, 2015.
- FREITAS, L; CASAGRANDE, J, C; OLIVEIRA, I, A; JÚNIOR, P, R, S; CAMPOS, M, C, C. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes, **Revista Agro@mbiente On-line**, v.8, n.2, p.155-164, 2014.
- FREITAS, L; OLIVEIRA, I, A; CASAGRANDE, J, C; SILVA, L, S; CAMPOS, M, C, C. Estoque de carbono de latossolos em sistemas de manejo natural e alterado, **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.28, n.1, p. 228-239, 2018.
- GAMA, J, R, N, F. Solos: manejo e interpretação. Belém, PA: **Embrapa Amazônia oriental**, 2004. 183.p.
- GAMA, R, T; MELLO, A, H. Avaliação da Fertilidade do Solo em Área de Reserva Legal, São Domingos do Araguaia, Pará. **Revista Caribena de Ciências Sociais**, 2017.
- GARAY, I; NORONHA, F; PELLENS, R; PÉREZ, D, V. Formas de húmus em fragmentos de floresta atlântica de tabuleiros - ES, Brasil: efeito do extrativismo seletivo sobre o subsistema de decomposição, **Oecologia Australis**, v.21, n.2, p.129-146, 2017.

GARCIA, E, T; BORGES, A, L. I; TAVARES-MARTINS, A, C, C. Brioflora de duas florestas de terra firme na Área de Proteção Ambiental do Lago de Tucuruí, PA, Brasil, *Hoehnea*, v.41 p.499-514, 2014.

GATIBONI, L, C; BRUNETTO, G; KAMINSKI, J; RHEINHEIMER, D, S; CERETTA, C, A; BASSO, C, J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos de suíno em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1753-1761, 2008.

GOMES, C, S; ROQUETTI, D, R; PULICE, S, M, P; MORETTO, E, M. Usinas hidrelétricas e desenvolvimento municipal: o caso das usinas hidrelétricas do complexo Pelotas-Uruguaí, **Journal of Environmental Management and Sustainability**, v.6, n.2, 2017.

GOMES, R,L,R; SILVA, G,M,C; COSTA, F, R; LIMA, A, F; OLIVEIRA, I, P; SILVA, D, B; Propriedades físicas e teor de matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais, **Revista Monte Belos(FMB)**, v.8, n.5. p.72-139, 2014.

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do Estado de Goiás. **Semina: Ciências agrárias**, v.34, p.2615-2628, 2013.

GUIMARÃES, D,V; GONZAGA, M,I,S; NETO, J,O; REIS, A,F; LIMA, T,S; SANTANA, I,L; Qualidade da Matéria Orgânica do Solo e Estoque de Carbono e Nitrogênio em Fragmento de Mata Atlântica do Município de Nilópolis, Sergipe, **Scientia Plena**, Nilópolis-SE, v.8, n.4, p.1-5, 2012.

GUIMARÃES; SANTOS, M, P, A; ARAÚJO, A, C; OLIVEIRA, A, S; RODRIGUES, L, B T; MARTINS, M, O, D; DAMASCENO, A. Relação Ca:Mg do corretivo da acidez do solo e as características agronômicas de plantas forrageiras. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, Salvador, v.14, n.3, p.460-471 jul./set., 2013. ISSN 1519 9940. Disponível em<<http://www.rbspa.ufba.br>> Acesso em 15 de out. 2019.

HAIR, J, F; ANDERSON, R, E; TATHAM, R, L; BLACK, W, C. Análise multivariada de dados. 5. Ed. **Porto Alegre**, Brasil, 2005. 593p.

HELIO L. L; ACCIOLY, L, J, O; SILVA, F, H, B, B; SOBRAL, M, C, M; FILHO, J, C, A; CANDEIAS, A, L, B. Espacialização da umidade do solo por meio da temperatura da superfície e índice de vegetação, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.9, p.973–980, 2011.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS - IAC. **Latossolos**. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/solosp/pdf/Latossolos.pdf>>. Acessado em: 20 de novembro de 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTÁTICA. Manual técnico de pedologia, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manuais técnicos em geociências**, ISSN 0103-9598 n. 4) - 3. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 430 p.

JATOBA, S, U, S. Gestão do território e a produção da socio natureza nas ilhas do lago de Tucuruí na Amazônia Brasileira. 301 p 2006. Tese (Doutorado em política e gestão ambiental) – **Universidade de Brasília**. 2006.

JEONG, J; MERKOVICH A; CLYNE, M; CONNOLLY, E, L. Directing iron transport in dicots: regulation of iron acquisition and translocation. **Sciencedirect**. V. 39, october, 2017, pp.106-117. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.06.014>. Acesso em: 26 jun. 2020.

JÚLIO-JR, H. F. Impactos de reservatórios sobre a biodiversidade. Biodiversidade em foco, p.43-47, Minas Gerais. **Auracária**, 2012.

JÚNIOR, A, L, N; SOUZA, L, S; SILVA, E, O; SILVA, F, T, S; SANTOS, N, A, C; SOUZA, P, P; VIEIRA, A, L; JÚNIOR, J, J, S; CONCEIÇÃO, T, A; ALVES, M, C, S; LIMA, A, P, J. Concentrações de dispersantes químicos e tempos de contato na dispersão de solos representativos do estado da Bahia, **Magistra, Cruz das Almas – BA**, v.26, n.1, p.68-74, 2014.

KRAEMER, G, B. Variabilidade espacial dos atributos do solo na delimitação das unidades de mapeamento. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), **Universidade Federal do Paraná**, 101.f, 2007.

LAL, R. *Enhancing ecosystem services with no-till*. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v.28, n.2, p.102–114, 2013.

LAL, Rattan. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. **Sustainability**. Ed. 7, 2015. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/7/5/5875>. Acesso em: 26 jun. 2017.

LANA, R, M, Q; REZENDE, R, V; LANA, A, M, Q; SILVA, A, A; VITORINO, L, B; GOMIDES, J, N. Ferro e manganês no perfil do solo em *saccharum officinalis* fertilizada com resíduos orgânicos. **Bioscience Journal**, v.30, n.1, p.131-139, 2014.

LAU, A, V; JARDIM, M, A, G. Relação entre o banco de sementes e a composição química do solo em uma floresta de várzea, **Biota Amazônia**, v.4, n. 2, p.96-101, 2014.

LEÃO, N.V.M; OHASHI, S.T; VIEIRA, I.C.G e GHILARDI JR, R. Ilha de Germoplasma de Tucuruí: uma reserva da biodiversidade para o futuro, **Embrapa Amazônia Oriental**, Brasília-DF, 232.p, 2005.

LEITE, L, F, C; FERREIRA, J, S; VELOSO, M, E, C; MOUSINHO, F, E, P; JUNIOR, A, F, R. Variabilidade espacial das frações da matéria orgânica do solo em áreas degradadas sob recuperação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4, p.394-401, 2015.

LIMA, W, S, G; BARROSO, F, A; SILVA, J, M, A; OLIVEIRA, J, C; MACIEL, T, S; SOUZA, G, H. Impactos ambientais na produção de energia na hidroelétrica, **Revista campo do saber**, v.4, n.4, p.106-131, 2018.

LOPES, A, S; GUILHERME, R.G.G. Interpretação de análise de solo, **ANDA**, Lavras, n.2, p.50, mar. 2004. Edição revisada.

- LOPES, H, L; ACCIOLY, L, J, O; SILVA, F, H, B, B; SOBRAL, M, C, M; FILHO, J, C, A; CANDEIAS, A, L, B. Espacialização da umidade do solo e índice de vegetação, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande- PB, v,15, n.9, p.973-980,2011.
- MACHADO, L, V; RANGEL, O, J, P; MENDONÇA, E, S; MACHADO, R, V; FERRARI, J, L; Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, **Coffee Science**, Lavras- MG, v.9, n.3, p. 289-299, 2014.
- MAIA, F, C; MEDEIROS, R, B; PILLAR, V, P; FOCHT, T; Padrões de variação do banco de sementes do solo de um campo natural em função de fatores de ambiente; **Revista Brasileira de sementes**, Porto Alegre- RS, v. 26, n. 2. p. 126-137, 2004.
- MANTOVANELLI, B, C; CAMPOS, M, C, C; ALHO, L, C; NASCIMENTO, UILSON F, F, M; SANTOS, L, A, C. Distribuição espacial dos componentes da acidez do solo em área de campo natural na região de Humaitá, Amazonas. Alta Floresta, MT, **UNEMAT – ISSN 1677-6062** v.14, n.1, p.01-09, 2016.
- MARCIEL, T, M. S; ALVES, M, C; SILVA, F, C. Atributos químicos da solução e do solo após aplicação de resíduo da extração de celulose. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.1, p.84–90, 2015.
- MARIA, I, C; DRUGOWICH, M, I; BORTOLETTI, J, O; VITTI, A, C; ROSSETTO, R; FONTES, J, L; TCATCHENCO, J; MARGATHO, S, M, F. Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana-de-açúcar. **Campinas: Instituto Agronômico**, p.100, 2016.
- MEDRADO, W, A. Caracterização geotécnica de solo da região norte de Minas Gerais para aplicação em obras rodoviárias, Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) **Universidade Federal de Ouro Preto**, 141.f, 2009.
- MINITAB Inc. 2010, 1991-2004, LEAD Technologies, Inc. versão 16.1.1.
- MIRANDA, R, B. Influência do assoreamento na geração de energia hidrelétrica: Estudo de caso na usina hidrelétrica de Três Irmãos–SP. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental), **Universidade de São Paulo**, 132.f, 2011.
- MITSUTAKE, H; GONTIJO, L. C; SANTANA, F. B; GUIMARÃES, E; DA ROCHA, L. L; BORGES NETO, W. *Use of Mass Spectrometry with Electrospray Ionization and Exploratory Analysis for Classification of Extra Virgin Olive Oil Adulterated with Vegetable Oils*, **Revista Virtual de Química**, v.7, p.2180-2189, 2015.
- MOLIN, J, P.; RABELLO, L, M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Eng. Agríc: Jaboticabal**, v.31, n.1, p.90-101, jan./fev. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v31n1/v31n1a09>. Acesso em: 28 jun. 2020.
- MONTGOMERY, D. C. Design and analysis of experiments. 3ed. New York: John Wiley & Sons, 2001. 856 p.

MORETTO, E, M; GOMES, C, S; ROQUETTI, D, R; JORDÃO, C, O. Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: A antiga e atual fronteira amazônica, **Ambiente & Sociedade**, v.15, n.3, p.141-164, 2012.

NASCIMENTO, M; MONTE, M. B. DE. M.; LOUREIRO, F. E. L. (2008) Agrominerais – Potássio. In. Luz, A. B. de.; Lins, A. F. Rochas e Minerais Industriais. 2. ed. Rio de Janeiro: **CETEM/MCT**. p. 176-209.

NETO, D, N; SANTOS, A, C; NETO, S, P, S. Atributos físicos e químicos do solo em ecossistema de capim-mombaça na Amazônia Oriental, **Revista de Ciências Agrárias**, v.55, n.2, p.75-84, 2012.

NETO, F. P. M. Programa de Germoplasma Florestal da UHE Tucuruí: Contribuição Para Recuperação e Conservação da Biodiversidade na Amazônia. In: XXVII Seminário Nacional de Grandes Barragens. **Comitê brasileiro de Barragens**. Belém, 2007.

NETO, F, V. C; PEREIRA, M, G; LELES, P, S, S; ABEL, E, L, S. Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em além Paraíba – MG. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 13-24, jan. - mar. 2018.

NETO, T, A, C; ANJOS, L, H, C; CAMARA, R; PEREIRA, M, G; CORREIA, M, E, F; JACCOUD, C, F, S. Relação fauna do solo-paisagem em plantio de eucalipto em toposseqüência. **Floresta**, v.48, n.2, p.213-224, 2018.

NOVAK, E; LAÉRCIO, A, C; ETENALDO, F, S; IRZO, I, R, P. *Chemical and microbiological attributes under different soil cover*. **CERNE**, v.23, n.1, p.19-30, janeiro, 2017.

OLIVEIRA, B,R; COELHO, E,F;CRUZ, R,O,R; QUEIROZ, L,A;BARROS, D,L, Efeitos da concentração da água de irrigação e frequência de fertirrigação na condutividade elétrica do solo cultivado com bananeira, **EMBRAPA**, Cruz das Almas- BA, 2016.

OLIVEIRA, R, B; BRITO, J, A, M. Análise de agrupamentos aplicada ao estudo de instituições de ensino superior pública. In: IV Seminário Internacional de Estatística com R & Python e as Tendências de Colaboração. **Anais**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense. 2019.

OLIVEIRA, D, L. Solos uma questão de sustentabilidade. **Gestão & Tecnologia. Faculdade Delta**. Edição III janeiro/fevereiro 2010, Goiânia, Goiás.

PARFITT, J, M, B; PINTO, M, A, B; TIMM, L, C, Efeito da Sistematização sobre atributos Físicos, Químicos e Biológicos de um solo de Várzea no Rio Grande do Sul, **EMBRAPA**, Pelotas,2014.Disponível em:<https://WWW.embrapa.br/buscapublicacoes/publicacao/998984/efeito-dasistematizacao-sobre-atributos-fisicos-quimicos-e-biologicos-de-um-solo-de-varzea-no-rio-grande-do-sul>. Acesso em 07 de janeiro de 2020.

PAVÃO, M. F. U; RAMOS, J. P. R; NUNES, C. S; CARDOSO, F. J. B; BONFIM, F. P; VILHENA, K. S. S. Atributos físicos e químicos de solos em áreas de mata nativa e pastagem da região do lago da usina hidrelétrica de Tucuruí – Pará, **Congresso Brasileiro de Química**, Anais, 2018.

PEREIRA, J, F; RYAN, P, R. The role of transposable elements in the evolution of aluminium resistance in plants. *Journal of Experimental Botany*. V. 70. n. 1. January 2019, pp.41–54. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/70/1/41/5133093>. Acesso em: 26 jun. 2020.

PEDRON, F, A; AZEVEDO, A, C; DALMOLIN, R, S, D; STÜRMER, S, L, K; MENEZES, F, P. Morfologia e classificação taxonômica de neossolos e saprolitos derivados de rochas vulcânicas da formação serra geral no Rio Grande no Sul, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.119-128, 2009.

PINTO, L, F. De Tucuruí a Belo Monte: a história avança mesmo? **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Belém, v.7, n.3, p.777-782, 2012.

PREZOTTI, LC; MARTINS, A,G; Guia de interpretação de análise de solo e foliar, **Incaper Instituto Capixaba de pesquisa, Assistência técnica e Extensão Rural**, Vitória, ES, 2013.

PRIMAVESI, A. Agricultura em regiões tropicais: o manejo ecológico do solo. 9. ed. São Paulo: **Nobel**, 549 p. 1988.

QUEIROZ, G, A. Efeito da microbiota de solos da região de SUAPE na corrosão de cupons de aço carbono API 5LX60, Dissertação, (Mestrado em Engenharia Química) **Universidade Federal de Pernambuco**, 111.f, 2011.

RAMALHO, I; SILVA, C, S; MENDES, A, S; SILVA, M, C, C; ALMEIDA, B, C; PEREIRA, S, F, P. Avaliação da intemperização do solo de uma área de lixão na cidade de Tucuruí - Pará – Brasil, **COPEC**, v.13, p.418-422, 2014.

RAMOS, J, P; **Análise comparativa entre uso e qualidade do solo na área do reservatório da UHE-Tucuruí com base nos atributos físicos e químicos, Tucuruí-PA**, Dissertação (Mestrado Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental) Universidade Federal do Pará, 2019

RIBEIRO, A, K, F, S. **Atributos de solos sob sistemas de uso agropecuários na mesorregião do oeste potiguar – RN**. 2016. Dissertação (mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semiárido – Mossoró-RN.

RIBEIRO, M. R. Origem e Classificação dos Solos Afetados por Sais. Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza, **InctSal**. p.11-19, 2010.

RIBEIRO, R; SILVA, C; ROSA, M, J. Estratégia para recuperação de fósforo de águas residuais urbanas. **Revista Apesb**, v.2, p.38-50, 2017.

RICHARD, M., PETRONE, J. S., PRICE, S. K., WADDINGTON, J. M. *Statistical characterization of the spatial variability of soil moisture in a cutover peatland*. **Hydrological Processes**, v.18, p.41–52, 2004.

RODRIGUES, A, L; WATZLAWICK, L, F; GENUÍ, A, M; HESS, A, F; EBLING, A, A. Atributos de um solo florestal em uma topossequência e relações com a comunidade arbórea. **Floresta**, Curitiba, v.46, n.2, p.145-154, 2016.

RODRIGUES, P, G; RUIVO, M, L, P; PICCININ, J, L; JARDIM, M, A, G. Contribuição dos atributos químicos do solo no desenvolvimento vegetativo do Paricá em diferentes sistemas de cultivo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 59-68, jan.-mar., 2016.

RODRIGUES, M.; RABÊLO, F. H. S.; CASTRO, H. A.; ROBOREDO, D.; CARVALHO, M. A. C.; ROQUE, C. G. *Changes in chemical properties by use and management of an Oxisol in the Amazon biome*. **Caatinga**, v.30, n.2, p.278-286, 2017. Doi: 10.1590/1983-21252017v30n202rc.

ROMÃO, R, L; **Carbono orgânico em função do uso do solo**, 36f 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista. 2013.

RONQUIM, C, C; Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais, Embrapa Monitoramento por Satélite, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Campinas, SP, ed.1, 16.p, 2010.

ROSA-JÚNIOR, W, O; BASTOS, M, N, C; AMARAL, D, D; SOARES, C, C. Composição florística de remanescentes florestais na área de influência do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Tucuruí, Pará, Brasil, **Biota Amazônia**, v.5, n.2, p.10-17, 2015.

ROSSETTI, K, V; CENTURION, J, F. Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo em cronosequência sob diferentes manejos, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.3, p.252–258, 2015.

ROSSINO, A, B. **Alterações nos atributos químicos do solo após duas aplicações sucessivas de água residuária de suinocultura**. 101 f 2018. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental.) - Universidade Federal de Uberlândia. 2018.

ROVEDDER, A, P, M; SUZUKI, L, A, S; DALMOLIN, R, S, D; REICHERT, J, M; SCHENATO, R, B. Compreensão e aplicabilidade do conceito de solo florestal, **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.23, n.3, p.517-528, 2013.

SALOMÃO, R.P; ROSA, N.A; CASTILHO, A; MORAIS, K.A.C. Castanheira-do-brasil recuperando áreas degradadas e provendo alimento e renda para comunidades da Amazônia Setentrional, **Boletim Museu Emílio Goeldi Ciências Naturais**, Belém, v.1, n.2, p.65-78, 2006.

SANCHES, F. & FISCH, G. As possíveis alterações microclimáticas devido a formação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí - PA. **Acta Amazônica**, v.35 p.41-50, 2005.

SANTOS, A, C; SALCEDO, I, H; CANDEIAS, A, L, B. Variabilidade espacial da fertilidade do solo sob vegetação nativa e uso agropecuário: estudo de caso na microbacia vaca brava – PB. **Revista Brasileira de Cartografia**, (ISSN 0560-4613), Nº62/02, p119-124, 2010.

SANTOS, H, G, SANTOS, H, G; JACOMINE, P, K, T, ANJOS, L, H, C; OLIVEIRA, V, A; LUMBRERAS, J, F; COELHO, M, R; ALMEIRA, J, A; CUNHA, T, J, F; OLIVEIRA, J, B. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**, Embrapa, Brasília- DF, 5.ed, p.356, 2010.

SANTOS, H, G; JACOMINE, P, K, T, ANJOS, L, H, C; OLIVEIRA, V, A; LUMBRERAS, J, F; COELHO, M, R; ALMEIRA, J, A; CUNHA, T, J, F; OLIVEIRA, J, B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. EMBRAPA, 3.ed. Brasília, 353p. 2013.

SANTOS, H, G; JACOMINE, P, K, T, ANJOS, L, H, C; OLIVEIRA, V, A; LUMBRERAS, J, F; COELHO, M, R; ALMEIRA, J, A; FILHO, J, C, A; CUNHA, T, J, F; OLIVEIRA, J, B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. EMBRAPA, 5.ed. Brasília, 601p. 2018.

SANTOS, J, R, R, M. Comportamento geotécnico de solos argilosos do vale Diapirico de Sesimbra, 2011. Dissertação (Mestrado em engenharia geológica), **Universidade Nova de Lisboa**- Portugal-Lisboa.

SANTOS, M, G, F. et al. Análise de Agrupamento Hierárquico Aglomerativo aplicada à Ecologia – Teoria e Prática. **UNISANTA Bioscience**, v. 5 n 5, p. 68-77, 2016.

SANTOS, R, D; LEMOS, R, C; SANTOS, H, G; KER, J, C; ANJOS, L, H, C; SHIMIZU, S, H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa, SP: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 2013. 100.p.

SILVA, A, S. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciência Rural**, v.44, n.10, p.1783-1789, 2014.

SILVA, A. H; FAVARETTO, N; CAVALIERI, K, M, V; DIECKOW, J; VEZZANI, F, M; PARRON, L, M; CHEROBIM, V, F; MARIOTI, J; Neto, H, F. Atributos físicos do solo e escoamento superficial como indicadores de serviços ambientais. In: PARRON, L, M; GARCIA, J, R; OLIVEIRA, E, B; BROWN, G, G; PRADO, R, B. **Serviço Ambiental em Sistemas Agrícola e Florestal do Bioma da Mata Atlântica**. Brasília, DF: EMBRAPA, p.71-83, 2015.

SILVA, G, F; SANTOS, D; SILVA, A, P; SOUZA, J, M. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste Paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 25–35, 2015.

SILVA, R, J; BRANCALION, P, H, S; RODRIGUES, R, R. Impactos do manejo florestal na ciclagem do nitrogênio: implicações para a conservação de florestas tropicais, **South American**, v.1, n.1, p. 240-249, 2017.

SILVA, S, A; LIMA, J, S, S; ZUCOLOTO, M. Distribuição espacial das frações granulométricas em um latossolo vermelho amarelo utilizando krigagem indicativa, **Engenharia na Agricultura**, viçosa, v.19 n.3, p.195-202, 2011.

SILVA, S, B; **Análise de solos para ciências agrárias**, 2.Ed, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém-PA,2018.

SILVA, S. de A.; LIMA, J.S. de S.; XAVIER, A.C.; TEIXEIRA, M.M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.15-22, 2010.

SILVEIRA, M; NETO, M, D, A; DURIEUX, H, G, L. *La durabilité socioculturelle et la santé dans les territoires (re) construits par les projets hydroélectriques em Amazonie: lecas de Belo Monte*, **Revue franco-brésilienne de géographie**, n.37, p.1-20, 2019.

SIQUEIRA, T, P. **Formas de aplicação de fontes de cálcio, magnésio e enxofre no cultivo do milho em condições controladas**. 109f, 2018. Dissertação (mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia. 2018.

SOUSA, E, A, B; MELO, MARCELLE, B; REIS, I, M, S; LIMA, BRUNO, A; JÚNIOR, N, J, M. **Quantificação de óxidos de ferro, atributos químicos e físicos dos solos em diferentes ecossistemas do estado do amapá**. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1102592/quantificacao-de->

oxidos-de-ferro-atributos-quimicos-e-fisicos-dos-solos-em-diferentes-ecossistemas-do-estado-do-amapa> Acesso em 10 de nov. 2019.

SOUSA, W.L. **Impacto ambiental de hidrelétricas: uma análise comparativa de duas abordagens**. 154.f 2000. Dissertação (Mestrado em ciência em planejamento energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2000.

SOUZA, J, L, M; FEZER, K, F; GURSKI, B, C; JERSZURKI, D; PACHECHENIK, P, E; EVANGELISTA, A, W, P. Atributos físicos e balanço hídrico do solo com floresta ombrófila mista, em latossolo vermelho-amarelo, em Telêmaco Borba – PR, **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.28, n.1, p.90-101, 2018.

SOUZA, L, A; CAMARGOS, L, S; AGUIAR, L, F. Efeito do alumínio sobre compostos nitrogenados em Urochloaspp. **Biotemas**, v.27 n.3 p.33-39, 2014.

SOUZA,C,R; AZEVEDO,C,P; LIMA, R, M; ROSSI, L,M,B; Comportamento de espécies florestais em plantios a pleno sol e em faixas de enriquecimentos de capoeira na Amazônia, **Acta amazônica**, v.40,p.127-134, 2010.

STEFANOSKI, D.C.; SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; PACHECO, L.P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1301- 1309, 2013.

STOTT, D.E; ANDREWS, S.S; LIEBIG, M.A; WIENHOLD, B.J; KARLEN, D.L. *Evaluation of b-glucosidase activity as a soil quality indicator for the soil management assessment framework*. **Soil Science Society of America Journal** v.74, p.107–119, 2010.

SU, S. L.; SINGH, D. N.; BAGHIN, I. M. S. *A critical review of soil moisture measurement*, v . 5 4 , p . 9 2 - 1 0 5 , 2 0 1 4 . <http://dx.doi-org.ez3.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.measurement.2014.04.007>.

TEIXEIRA, P. C; DONAGEMMA, G, K; CAMPOS, D, V, B; CALDERANO, S, B; TEIXEIRA, W, G; VIANA, J, H, M. **Manual de métodos de análise do solo**, 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. p.230. (Embrapa Solos. Documentos).

TEIXEIRA, W,G; MACEDO, MACEDO, R,S; ENCINAS, O,C; MARTINS, G, C; ROSSI, L,M,B; O uso da cor do solo como indicador da recuperação dos teores de carbono orgânico no solo em áreas em restauração florestal na Província Petrolífera de Urucu, Coari- AM, **EMBRAPA**, Manaus-AM, 2010.Disponível em:<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/867209/o-uso-da-cor-do-solo-como-indicador-da-recuperacao-dos-teores-de-carbono-organico-no-solo-em-areas-em-restauracao-florestal-na-provincia-petrolifera-de-urucu-coari---am>. Acesso em 07 de janeiro de 2020.

TOTÓLA, M, R; CHAER, G, M. Microrganismo e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos, **EMBRAPA**, v.2, p.196-264, 2002.

TUNDISI, J. G.; GOLDEMBERG, J.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; & SAARAIVA, A. C. F. *How many more dams in the Amazon?* **Energy Police**, v.74, p.703-708, 2014.

UDINE, G, B; VALE JÚNIOR, J, F; GONÇALVES, R, S; C, E; FERREIRA, M, V; PEREIRA U, S, C. Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos

pliopleistocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, norte amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Brasil, v.35, n.2, 2011, pp. 299-312.

VERAS, C, L, G; SILVA, S, A, S; CAMPOS, Y, O. Determinação dos atributos químicos do solo de ilhas do lago da usina hidrelétrica de Tucuruí-Pa, **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.13 n.23, p.458, 2016.

VIANA, J, H, M; SOARES, G, H; MARTINS, O, F, L; LIMA, T, L, B; PAIVA, V, F; Características químicas e físicas de um solo cascalhento e suas implicações para o manejo sustentável desse solo. **EMBRAPA**, 2008. Disponível em : <https://www.embrapa.br/buscadepublicacoes//publicacao/491419/caracteristicas-quimicas-e-fisicas-de-um-solo-cascalhento-e-suas-implicacoes-para-o-manejo-sustentavel-desse-solo>. Consultado em 03 de janeiro de 2020.

WIDMER, L. Fertilidade do Agroecossistema – Estudo sobre a aplicação antecipada da adubação orgânica sobre plantas de cobertura para o cultivo do milho. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistema). **Universidade Federal de Santa Catarina**, Santa Catarina, 2012.

WIEND, T. **Otimização da Produção. Informações Agronômicas** n.117, março, p.19-21, 2007.

ZANINETTI, R.A; MOREIRA, A; MORAES, L.A.C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Amarelo na conversão de floresta primária para seringais na Amazônia, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1061-1068,2016.

APÊNDICE A - Coordenadas geográficas dos pontos de coleta nas áreas da ilha de germoplasma.

<b>Área</b>	<b>Pontos de coletas</b>	<b>Coordenadas Geográficas</b>
Q17	1° (central)	3°52'08.3"S 49°38'47.5"W
	2°	3°52'08.5"S 49°38'47.6"W
	3°	3°52'08.2"S 49°38'47.3"W
	4°	3°52'08.3"S 49°38'47.3"W
	5°	3°52'08.4"S 49°38'47.3"W
	6°	3°52'08.5"S 49°38'47.7"W
	7°	3°52'08.3"S 49°38'47.8"W
	8°	3°52'08.3"S 49°38'47.8"W
	9°	3°52'08.3"S 49°38'47.7"W
	10°	3°52'08.2"S 49°38'47.7"W
Q18	2° (central)	3°52'11.8"S 49°38'43.7"W
	12°	3°52'11.8"S 49°38'43.5"W
	13°	3°52'12.1"S 49°38'43.5"W
	14°	3°52'11.8"S 49°38'43.7"W
	15°	3°52'11.8"S 49°38'43.9"W
	16°	3°52'11.8"S 49°38'44.0"W
	17°	3°52'11.6"S 49°38'43.8"W
	18°	3°52'11.5"S 49°38'43.6"W
	19°	3°52'11.6"S 49°38'43.5"W
	20°	3°52'11.8"S 49°38'43.3"W
PC3	3° (central)	3°52'13.5"S 49°38'42.5"W
	22°	3°52'13.4"S 49°38'42.3"W
	23°	3°52'13.4"S 49°38'42.4"W
	24°	3°52'13.6"S 49°38'42.3"W
	25°	3°52'13.5"S 49°38'42.3"W
	26°	3°52'13.5"S 49°38'42.4"W
	27°	3°52'13.2"S 49°38'42.6"W
	28°	3°52'10.0"S 49°38'42.5"W
	29°	3°52'13.3"S 49°38'42.6"W
	30°	3°52'13.4"S 49°38'42.4"W

APÊNDICE B - Matriz de dados originais usados na multivariada.

Áreas	MO	CO	Fe <sup>2+</sup>	pH				Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup> <sub>+</sub>	Mg <sup>2+</sup> <sub>+</sub>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> <sub>+</sub>	H <sup>+</sup>	AP
	g/kg			H <sub>2</sub> O	KC <sub>1</sub>	CaCl <sub>2</sub>	ΔpH	cmol/kg					
<b>Profundidade 0-10 cm</b>													
<b>Q18</b>	157,9	25,3	123,3	4,3	3,8	3,8	-0,49	21,8	0,3	0,6	0,90	14,00	35,8
<b>Q17</b>	129,8	18,5	140,0	4,9	3,9	4,0	-0,97	13,5	1,4	1,8	3,20	6,80	20,4
<b>PC3</b>	187,2	35,9	121,0	4,5	3,9	3,9	-0,61	20,0	0,6	1,2	1,80	22,00	42,1
<b>Profundidade 10-20 cm</b>													
<b>Q18</b>	218,2	30,4	150,0	4,4	3,9	3,9	-0,54	19,2	0,3	0,3	0,6	7,7	27,0
<b>Q17</b>	108,7	20,6	171,3	4,8	3,8	4,0	-0,91	15,9	0,9	1,6	2,5	10,2	26,1
<b>PC3</b>	176,5	36,1	121,6	4,6	3,9	3,9	-0,63	19,8	0,3	0,8	1,1	14,3	34,2

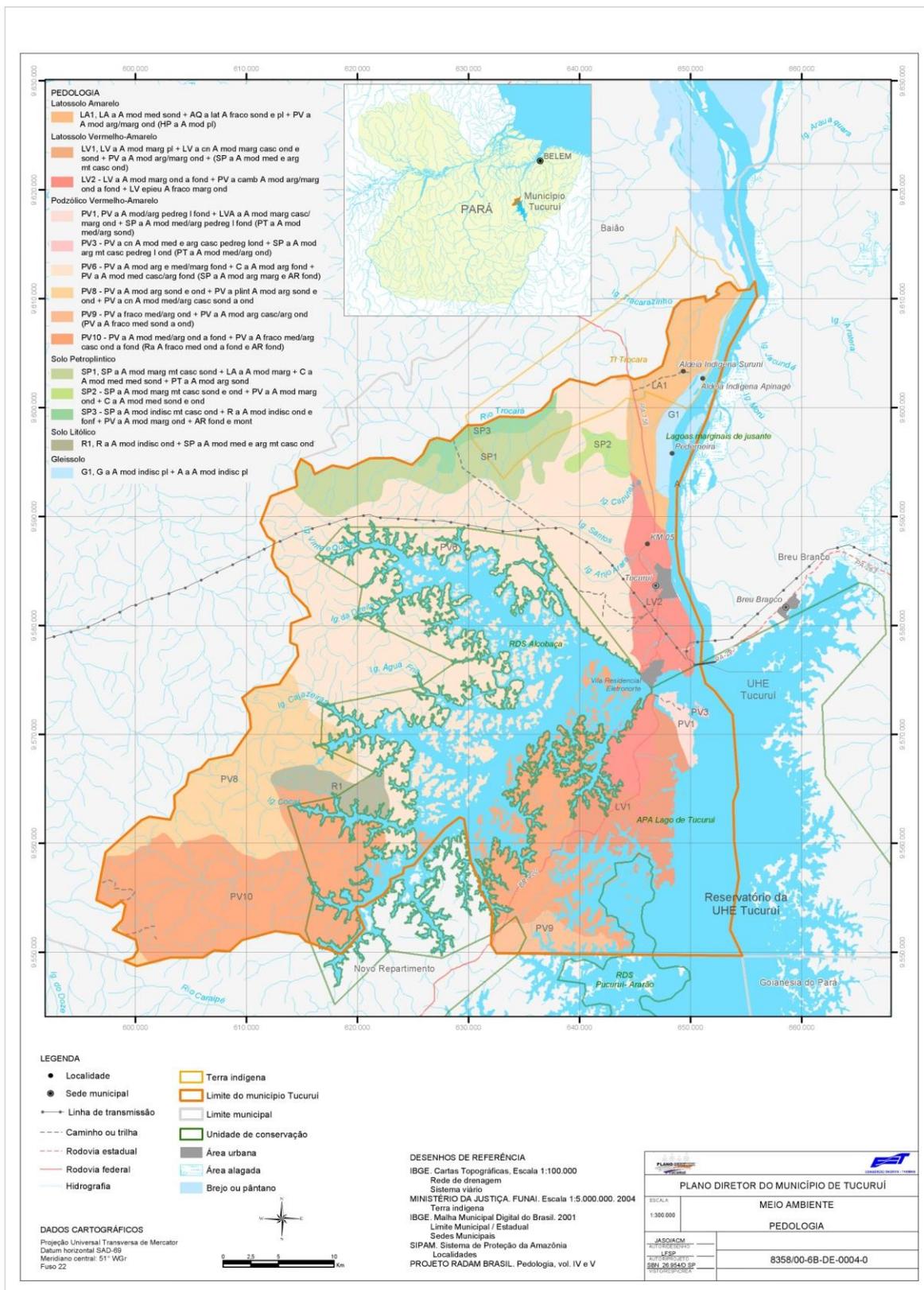
APÊNDICE C - Matriz de dados padronizada ou autoescalada.

Áreas	MO	CO	Fe <sup>2+</sup>	pH				Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup>	AP
				H <sub>2</sub> O	KCl	CaCl <sub>2</sub>	ΔpH						
	Profundidade 0-10 cm												
<b>Q18</b>	-0,131	-0,327	-0,722	-1,275	-1,536	-1,412	1,022	1,117	-0,741	-0,774	-0,776	0,269	0,626
<b>Q17</b>	-0,836	-1,231	0,105	1,412	0,433	1,513	-1,400	-1,585	1,737	1,290	1,519	-1,019	-1,343
<b>PC3</b>	0,608	1,066	-0,838	-0,406	-0,118	-0,320	0,404	0,535	-0,085	0,201	0,077	1,698	1,418
Profundidade 10-20 cm													
<b>Q18</b>	1,388	0,345	0,601	-0,627	0,433	-0,451	0,754	0,277	-0,741	-1,290	-1,071	-0,858	-0,504
<b>Q17</b>	-1,368	-0,954	1,660	0,906	-0,591	0,640	-1,083	-0,812	0,571	0,946	0,798	-0,412	-0,609
<b>PC3</b>	0,339	1,101	-0,805	-0,011	1,379	0,029	0,303	0,468	-0,741	-0,373	-0,547	0,322	0,411

APÊNDICE D -Contribuição na ordem decrescente dos *loadings* em cada PC

<b>Atributos químicos</b>	<b>Contribuição</b>	<b>Atributos químicos</b>	<b>Contribuição</b>
<b>do solo</b>	<b>PC1</b>	<b>do solo</b>	<b>PC2</b>
$\Delta$ pH	-0.333	H ext	-0.534
Al	-0.332	Fe	0.410
pH H <sub>2</sub> O	0.323	AP	-0.379
Ca	0.316	Mg	-0.321
pH CaCl <sub>2</sub>	0.311	CO	-0.319
Ca+Mg	0.311	Ca+Mg	-0.251
Mg	0.295	pH KCl	-0.222
AP	-0.270	pH CaCl <sub>2</sub>	-0.169
CO	-0.266	Ca	-0.150
MO	-0.261	pH H <sub>2</sub> O	-0.149
Fe	0.206	$\Delta$ pH	0.110
H ext	-0.197	MO	0.040
pH KCl	0.038	Al	0.003

ANEXO A - Mapa pedológico do município de Tucuruí, Pará.



Fonte: Plano Diretor do Município de Tucuruí, 2010