



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PROCESSOS**



**TESE DE DOUTORADO**

**INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO DE PROPRIEDADES EM  
TRANSIÇÃO AGROECOLÓGICA**

**SARA REGINA MIRANDA RUFINO**

**CAMPINA GRANDE – PB  
2014**

**SARA REGINA MIRANDA RUFINO**

**INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO DE PROPRIEDADES EM  
TRANSIÇÃO AGROECOLÓGICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de Doutora em Engenharia de Processos.

**Área de concentração:** Desenvolvimento de Processos

**Linha de pesquisa:** Processos Térmicos e de Separação

**Orientadora:** Profa. Dra. Crislene Rodrigues da Silva Morais

**CAMPINA GRANDE – PB  
2014**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

R926i Rufino, Sara Regina Miranda.  
Indicadores da qualidade do solo de propriedades em transição agroecológica / Sara Regina Miranda Rufino. – Campina Grande, 2014.  
91 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.

"Orientação: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Crislene Rodrigues da Silva Morais".  
Referências.

1. Agricultura Familiar – Engenharia de Processos. 2. Indicadores da Qualidade do Solo. 3. Transição Agroecológica. I. Morais, Crislene Rodrigues da Silva. II. Título.

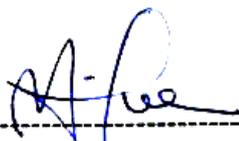
CDU 658.5:631(043)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA TESE DE DOUTORADO DE SARA REGINA MIRANDA RUFINO APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS DO CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

Tese de Doutorado Aprovada em: 28 de Agosto de 2014



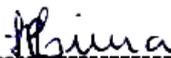
-----  
**Prof. D.Sc. Crislene Rodrigues da Silva Moraes (UFCG)**  
(Orientadora)



-----  
**Prof. D.Sc. Helionilda Costa Silva (UEPB)**  
Examinadora Externa



-----  
**Prof. D.Sc. José Wallace Barbosa do Nascimento (UFCG)**  
Examinador Interno



-----  
**Prof. D.Sc. Lenilde Mérgia Ribeiro Lima (UFCG)**  
Examinador Interno



-----  
**Prof. D.Sc. Norma Maria de Oliveira Lima (UFCG)**  
Examinadora Interna

Campina Grande, Agosto de 2014

**A** Maria Júlia, meu ourinho, minha continuidade. OFEREÇO.

**A**o meu Voinho, tia Emília, Maria Emília e Ayrinho (*in memoriam*), pessoas eternizadas em meu coração. DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar os caminhos nas horas incertas e me fortalecer na fé em dias melhores.

À Maria Júlia, minha filha amada, que com seus nove anos cheios de vida e alegria, ensina-me a ser mãe. Maria, perdão pelos momentos de ausência exigidos pela minha formação. Prometo que vamos brincar mais, ir aos parques, ir ao cinema, conhecer o Amazonas e viver muito mais vezes juntas do que antes.

Aos meus pais, que sempre me incentivaram para continuar estudando, contribuindo de diferentes maneiras e me fortalecendo, sempre.

Aos meus irmãos, Consuelo, Breno e Lauro, companheiros de alegrias e lágrimas.

À minha avó, Maria de Jesus, pela força e perseverança na vida.

À professora Dr<sup>a</sup>. Crislene Rodrigues da Silva Morais, pela confiança, compreensão e exemplo de maternidade e profissionalismo.

Aos amigos que encontrei em Campina Grande, pois sem eles, minha estadia teria sido demasiadamente solitária (Francisco, Cleide, Gracilene, Norma, Hely, Lenice, Daniella, Valdefran, Douglas, Edna, e colegas de programa).

Aos colegas do Departamento de Energia Nuclear da UFPE, sempre prontos a auxiliar (Pedrinho, Gilberto).

Aos professores Dr<sup>o</sup> Rômulo Menezes e Dr<sup>o</sup> Everardo Sampaio, pelos ensinamentos.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos, que me proporcionou novos horizontes além das ciências agrárias.

Às minhas queridas amigas, onde a distância só é geográfica, Dilza, Claudenice, Priscila, Rose, Mirian, Laudicéia, Keycy e meu querido amigo, Gilberto.

Ao Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, pela oportunidade profissional.

Aos professores da Banca, Dr<sup>a</sup>. Helionalda Costa Silva, Dr<sup>o</sup>. José Wallace Barbosa do Nascimento, Dr<sup>a</sup>. Lenilde Mérgia Ribeiro Lima, Dr<sup>a</sup>. Norma Maria de Oliveira Lima, agradeço as suas preciosas considerações ao presente trabalho e generosas sugestões de aprimoramento.

## RESUMO

**RUFINO, S.R.M.** Indicadores da qualidade do solo de propriedades em transição agroecológica. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

A agricultura familiar, com base agroecológica, tem estimulado mudanças significativas na vida de famílias de agricultores familiares, seja no manejo do solo, na relação com o meio ambiente, hábitos alimentares, segurança alimentar, ou mesmo autonomia produtiva. Nesta perspectiva, avaliar a qualidade do solo dentro de sistemas em transição agroecológica (convencional para agroecológico), pode proporcionar melhor compreensão sobre seus efeitos deste sistema de cultivo do solo. Na busca da sustentabilidade de sistemas agrícolas o uso de indicadores no monitoramento das condições do solo constitui-se numa importante ferramenta para a tomada de decisões na condução das produções. O objetivo deste trabalho foi comparar propriedades físicas, químicas, bioquímicas, microbiológicas e termogravimétricas de solos de mesorregiões do agreste da Paraíba em transição agroecológica. O presente estudo foi desenvolvido na Mesorregião do Agreste-Brejo da Paraíba. Foram coletados solos em propriedades de agricultores familiares sob sistema de cultivo agroecológico e convencional, os quais foram submetidos a diferentes indicadores de sustentabilidade do solo. Os indicadores químicos nitrogênio, matéria orgânica leve, carbono orgânico total e matéria orgânica, apresentaram maior correlação e sensibilidade quanto a sua utilização de indicadores da qualidade de solos em transição agroecológica. A termogravimetria apresentou potencialidade na identificação dos solos com relação ao teor de matéria orgânica de solo agrícola.

**Palavras-chave:** Indicadores da qualidade do solo, agricultura familiar, transição agroecológica.

## **ABSTRACT**

**RUFINO, S.R.M.** Indicators of soil quality properties in agroecological transition. Doctoral Thesis. Federal University of Campina Grande - UFCG.

A family farm with agroecological base, has spurred significant changes in the lives of farming families, either in soil management in relation to the environment, eating habits, food security, or even productive autonomy. In this perspective, assessing soil quality within systems (for conventional agroecological) agroecological transition may provide better understanding of the effects of this system of cultivation. In search of the sustainability of agricultural systems, using indicators in the monitoring of soil conditions constitutes an important tool for decision making in the conduct of productions. The objective of this study was to compare physical, chemical, biochemical, microbiological and thermogravimetric soils of the rough mesoregions of Paraíba in agroecological transition properties. This study was developed in Meso - Heath of the Wasteland Paraíba. Soil samples were collected on properties of farmers in agro-ecological and conventional cropping system, which were subjected to different indicators of soil sustainability. Chemical indicators nitrogen, light organic matter, total organic carbon and organic matter showed higher correlation and sensitivity as the use of soil quality indicators in agro-ecological transition. Thermogravimetry showed potential in the identification of soils in relation to organic matter content of agricultural soil.

**Keywords:** Indicators of soil quality, family farming, agroecological transition.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Agricultura familiar por região.....	19
Figura 2	Agricultura familiar por produção de alimentos.....	20
Figura 3	Agricultura familiar por proteína animal.....	20
Figura 4	Cultivo agroecológico (Queimadas).....	23
Figura 5	Cultivo convencional (Queimadas).....	24
Figura 6	Mapa da Paraíba.....	38
Figura 7	Cultivo agroecológico (Brejo – T1).....	39
Figura 8	Cultivo convencional (Curimataú ocidental – T4).....	40
Figura 9	Cultivo agroecológico (Curimataú oriental – T11).....	40
Figura 10	Áreas convencional (à esquerda) e agroecológica (à direita).....	41
Figura 11	Coleta de solo.....	42
Figura 12	Indicadores físicos (%).....	51
Figura 13	pH (H <sub>2</sub> O) .....	53
Figura 14	Fósforo.....	53
Figura 15	Nitrogênio .....	54
Figura 16	Matéria Orgânica Leve (MOL) .....	55
Figura 17	Carbono Orgânico Total (COT) .....	56
Figura 18	Matéria Orgânica (MO) .....	57
Figura 19	Glomalina.....	58
Figura 20	Fosfatase.....	59
Figura 21	Biomassa Microbiana.....	60
Figura 22	Coeficiente Microbiano.....	61
Figura 23	Números de Esporos Viáveis (NE <sub>Viáveis</sub> ).....	62
Figura 24	Números de Esporos Não Viáveis (NE <sub>Não viáveis</sub> ).....	62
Figura 25	Curvas TGA/DTGA da amostra T1, obtida a razão de aquecimento de 10°C.min <sup>-1</sup> em atmosfera de nitrogênio (fluxo de 50 mL.min <sup>-1</sup> ) .....	64
Figura 26	Curvas TGA/DTGA da amostra T2, obtida a razão de aquecimento de 10°C.min <sup>-1</sup> em atmosfera de nitrogênio (fluxo de 50 mL.min <sup>-1</sup> ) .....	64
Figura 27	Curvas TGA/DTGA da amostra T3, obtida a razão de aquecimento de 10°C.min <sup>-1</sup> em atmosfera de nitrogênio (fluxo de 50 mL.min <sup>-1</sup> ) .....	65
Figura 28	Curvas TGA/DTGA da amostra T4, obtida a razão de aquecimento de 10°C.min <sup>-1</sup> em atmosfera de nitrogênio (fluxo de 50 mL.min <sup>-1</sup> ) .....	65
Figura 29	Curvas TGA/DTGA da amostra T5, obtida a razão de aquecimento de 10°C.min <sup>-1</sup> em atmosfera de nitrogênio (fluxo de 50 mL.min <sup>-1</sup> ) .....	66

Figura 30	Curvas TGA/DTGA da amostra T6, obtida a razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ em atmosfera de nitrogênio (fluxo de $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ) .....	66
Figura 31	Curvas TGA/DTGA da amostra T7, obtida a razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ em atmosfera de nitrogênio (fluxo de $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ) .....	67
Figura 32	Curvas TGA/DTGA da amostra T8, obtida a razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ em atmosfera de nitrogênio (fluxo de $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ) .....	67
Figura 33	Curvas TGA/DTGA da amostra T9, obtida a razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ em atmosfera de nitrogênio (fluxo de $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ).....	68
Figura 34	Curvas TGA/DTGA da amostra T10, obtida a razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ em atmosfera de nitrogênio (fluxo de $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ) .....	68
Figura 35	Curvas TGA/DTGA da amostra T11, obtida a razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ em atmosfera de nitrogênio (fluxo de $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ) .....	69
Figura 36	Curvas TGA/DTGA da amostra T12, obtida a razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ em atmosfera de nitrogênio (fluxo de $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ) .....	69

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Comparação entre as tecnologias da Revolução Verde e da agroecologia.....	25
Quadro 2	Influências das frações do solo sobre algumas das suas propriedades e comportamentos dos solos.....	27
Quadro 3	Microrregiões do estudo.....	37
Quadro 4	Identificações das áreas de agricultores familiares.....	39
Quadro 5	Classificação e textura do solo.....	43
Quadro 6	Indicadores químicos do solo.....	45
Quadro 7	Indicadores bioquímicos.....	46
Quadro 8	Indicadores microbiológicos do solo.....	49
Quadro 9	Resultados da decomposição termogravimétrica das amostras de solos estudados à razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ em atmosfera de $\text{N}_2$ .....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADA	Argila dispersa em água
AS-PTA	Assessoria e serviços a projetos em agricultura alternativa
ATER	Assistência técnica de extensão rural
BM	Biomassa microbiana
C	Carbono
CBM	Carbono da biomassa microbiana
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CONAB	Companhia nacional de abastecimento
COT	Carbono orgânico total
DTA	Análise térmica diferencial
EMATER	Empresa de assistência técnica e extensão rural
EMBRAPA	Empresa de Pesquisa Agropecuária
FMA	Fungos micorrízicos arbusculares
GEF	Glomalina facilmente extraível
H <sub>2</sub> O	Água
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPA	Instituto Agrônomo de Pernambuco
K	Potássio
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Dicromato de potássio
MDA	Ministério do desenvolvimento agrário
MO	Matéria orgânica
MOL	Matéria orgânica leve
MOS	Matéria orgânica do solo
N	Nitrogênio
P	Fósforo
PVC	Policloreto de Vinila
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
Q.microbiano	Quoeficiente microbiano
TFSA	Terra fina seca ao ar
TGA	Termogravimetria

## SUMÁRIO

### CAPÍTULO 1

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1 OBJETIVO GERAL.....	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17

### CAPÍTULO 2

<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	19
2.1 AGRICULTURA FAMILIAR.....	19
<b>2.1.1 Agricultura familiar agroecológica</b> .....	21
<b>2.1.2 Agricultura familiar convencional</b> .....	23
2.2 INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO.....	26
<b>2.2.1 Indicador físico do solo</b> .....	27
2.2.1.1 Textura.....	27
<b>2.2.2 Indicadores químicos do solo</b> .....	28
2.2.2.1 Índice de pH .....	28
2.2.2.2 Carbono Orgânico Total (COT).....	28
2.2.2.3 Nitrogênio (N).....	29
2.2.2.4 Fósforo (P).....	30
2.2.2.5 Matéria Orgânica do Solo (MOS).....	30
2.2.2.6 Matéria Orgânica Leve (MOL).....	31
<b>2.2.3 Indicadores bioquímicos do solo</b> .....	31
2.2.3.1 Glomalina.....	31
2.2.3.2 Fosfatase.....	32
<b>2.2.4 Indicadores microbiológicos</b> .....	32
2.2.4.1 Biomassa microbiana.....	33
2.2.4.2 Fungos micorrízicos.....	33
2.3 CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DOS SOLOS.....	34
2.4 CONSIDERAÇÕES DOS INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO.....	34

### CAPÍTULO 3

<b>3 METODOLOGIA</b> .....	37
3.1 LOCALIZAÇÃO.....	37
3.2 COLETAS DO SOLO.....	41
3.3 INDICADOR FÍSICO DO SOLO.....	42
3.4 INDICADORES QUÍMICOS DO SOLO.....	43
<b>3.4.1 Matéria Orgânica Leve (MOL)</b> .....	41
3.5 INDICADORES BIOQUÍMICOS DO SOLO.....	45

<b>3.5.1 Glomalina</b> .....	45
<b>3.5.2 Fosfatase</b> .....	46
3.6 INDICADORES MICROBIOLÓGICOS.....	46
<b>3.6.1 Biomassa microbiana (BM)</b> .....	46
<b>3.6.2 Fungos micorrízicos</b> .....	48
3.7 CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA.....	49
<b>3.7.1 Termogravimetria (TGA) e Termogravimetria derivada (DTGA)</b> .....	49

## **CAPÍTULO 4**

<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	51
4.1 INDICADORES FÍSICOS DOS SOLOS.....	51
4.2 INDICADORES QUÍMICOS DOS SOLOS.....	52
<b>4.2.1 pH e Fósforo</b> .....	52
<b>4.2.2 Nitrogênio (N) e Matéria Orgânica Leve (MOL)</b> .....	53
<b>4.2.3 Carbono Orgânico Total (COT) e Matéria Orgânica (MO)</b> .....	56
4.3 INDICADORES BIOQUÍMICOS.....	58
<b>4.3.1 Glomalina e Fosfatase</b> .....	58
4.4 INDICADORES MICROBIOLÓGICOS.....	60
<b>4.4.1 Biomassa Microbiana (BM), Coeficiente Microbiano e Fungos Micorrízicos (FMA)</b> .....	60
4.5 CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA.....	63
<b>4.5.1 Termogravimetria (TGA) e Termogravimetria Derivada (DTGA)</b> .....	63

## **CAPÍTULO 5**

<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	74
5.1 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	75
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	77
<b>APÊNDICE</b> .....	86

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUÇÃO**

---

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura familiar, com base agroecológica, tem estimulado mudanças significativas na vida de famílias de agricultores familiares, seja no manejo do solo, na relação com o meio ambiente, hábitos alimentares, segurança alimentar, ou mesmo autonomia produtiva.

O enfoque agroecológico tem relativo reconhecimento como a abordagem teórico-conceitual e metodológica para produção rural sustentável. Tendo como princípios processos equilibrados entre as dinâmicas sociais, econômicas e ambientais.

Contudo, sistemas agroecológicos, necessitam de conhecimentos sobre o ambiente, biodiversidade natural e aptidão produtiva da região, para que tenha condições de desenvolvimento e viabilidade. Considerar que “todos” os cultivos agroecológicos apresentam excelência em produtividade sustentável seria utopia.

Nesta perspectiva, avaliar a qualidade do solo dentro de sistemas em transição agroecológica (convencional para agroecológico), pode proporcionar melhor compreensão sobre seus efeitos, não apenas no contexto socioeconômico, mas também científico.

A análise de processos de transição agroecológica, requer a utilização de metodologias capazes de apreender a realidade dos agroecossistemas. Desta forma a seleção de indicadores da qualidade do solo para que venham expressar os efeitos desta transição está em construção, não havendo metodologias “específicas” para estes estudos.

Nesse sentido, as construções de indicadores pelas ciências naturais estão sendo estudados e testados, no intuito de viabilizar sua utilidade na mensuração da qualidade dos solos e sustentabilidade da agricultura em transição agroecológica.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi comparar propriedades físicas, químicas, bioquímicas, microbiológicas e termogravimétricas de solos das mesorregiões do Agreste da Paraíba sob transição agroecológica, de modo a selecionar as propriedades que possam ser úteis como indicadores da qualidade de solos.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar as propriedades físicas e químicas do solo (Granulometria, pH, Fósforo Disponível, Nitrogênio Total, Carbono Orgânico Total, Matéria Orgânica e Matéria Orgânica Leve);
- Determinar as propriedades bioquímicas do solo (glomalina e fosfatase ácida);
- Determinar as propriedades microbiológicas do solo (número de esporos viáveis e biomassa microbiana);
- Caracterizar termicamente os solos por meio das técnicas de Termogravimetria (TGA) como forma de estudar o comportamento térmico do solo;
- Avaliar as propriedades e componentes do solo que melhor se caracterizam como indicadores da qualidade do solo.

## **CAPÍTULO 2**

### **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

---

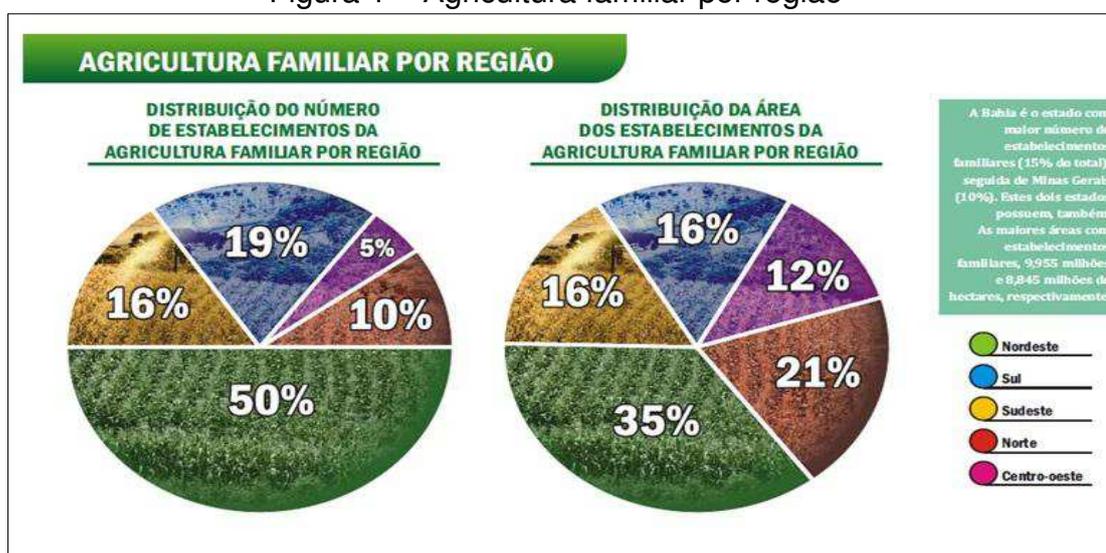
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta etapa serão apresentadas as conceituações que servirão para fundamentar os temas abordados e relevantes desta pesquisa, a saber: agricultura familiar; agricultura familiar agroecológica; agricultura familiar convencional; indicadores do solo e comportamento térmico do solo.

### 2.1 AGRICULTURA FAMILIAR

Atualmente a maior parte dos alimentos que abastecem a mesa dos brasileiros vem das pequenas propriedades. Favorece as práticas ecologicamente mais equilibradas, como a diversificação de cultivos, o menor uso de insumos industriais e a preservação do patrimônio genético. Cerca de 60% dos alimentos que compuseram a cesta alimentar distribuída pela Conab originaram-se da agricultura familiar (CONAB, 2006). Dados do censo agropecuário indicam que o Nordeste ocupa 50% dos estabelecimentos de agricultura familiar do território nacional, sendo a região também possuidora de 35% das áreas dos estabelecimentos da agricultura familiar (IBGE, 2006).

Figura 1 – Agricultura familiar por região



Fonte: IBGE, Senso agropecuário 2006.

Figura 2 – Agricultura familiar por produção de alimento



Fonte: IBGE, Senso agropecuário 2006.

Com a criação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar – PRONAF em 1996, a agricultura familiar passou a receber maiores incentivos. Como consequência, promovendo maior diversificação das atividades produtivas rurais, como a agroindústria de base familiar e a produção agroecológica.

Figura 3 – Agricultura familiar por produtos de origem animal



Fonte: IBGE, Senso agropecuário 2006.

Apesar de cultivar em menores áreas, a agricultura familiar é a principal fornecedora de alimentos básicos para a população brasileira e importante fornecedora de proteína animal.

### **2.1.1 Agricultura familiar agroecológica**

As características intrínsecas à produção familiar podem perfeitamente ser associadas aos princípios básicos da agroecologia. A importância estrutural do núcleo familiar, que se orienta primordialmente à garantia da reprodução social, traz consigo pelo menos duas decorrências: uma primeira e fundamental é a visão sobre a preservação dos recursos naturais em uma perspectiva, não da próxima colheita, mas das próximas gerações. A segunda decorrência é a versatilidade para manejar os recursos agroecológicos disponíveis. Do ponto de vista produtivo, a experiência adquirida em condições, muitas vezes limite, confere uma garantia adicional de continuidade de reprodução econômica aos sistemas produtivos de caráter familiar (ALTIERI, 2009).

A agroecologia baseia-se nos princípios da sustentabilidade ecológica, social, econômica, cultural e espacial/geográfica, ou seja, princípios que norteiam a construção de um modelo tecnológico abrangente, que seja socialmente justo, economicamente viável e ecologicamente sustentável (ALTIERI, 2009).

Assim, esta nova forma e fazer a agricultura requer maior racionalização produtiva, não somente com base no conhecimento das especificidades físicas, químicas e biológicas dos agroecossistemas, mas também nas mudanças das práticas, ideias e valores dos agricultores, em relação ao uso, manejo e preservação dos recursos naturais disponíveis (COSTABEBER, 2006).

Para Gliessman (2001), é a aplicação dos princípios e conceitos da ecologia ao desenho de agroecossistemas sustentáveis, tendo para uma agricultura sustentável as seguintes características:

- Ter efeitos mínimos no ambiente e não liberar substâncias tóxicas ou nocivas na atmosfera, em águas superficiais ou subterrâneas.
- Preservar e recompor a fertilidade, prevenir a erosão e manter a saúde do solo.
- Usar a água de maneira a permitir a recarga dos depósitos aquíferos e manter as necessidades hídricas do ambiente e das pessoas.

- Dependendo dos recursos internos do agroecossistema, incluindo comunidades próximas.

- Valorizar e conservar a diversidade biológica e garantir igualdade de acesso a práticas, conhecimentos e tecnologias agrícolas, possibilitando o controle local dos recursos agrícolas.

Ainda, de acordo com Gliessman (2001), os sistemas desenvolvidos em bases ecológicas melhoram a fertilidade do solo, favorecendo o aumento da biodiversidade, proporcionando a ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia de modo mais eficiente.

As técnicas agroecológicas podem produzir altas colheitas de diversos cultivos e manter a fertilidade do solo, reduzindo a dependência do agricultor por insumos químicos de alto custo e de mercados instáveis (ALTIERI, 2009).

A abordagem da Agroecologia deve integrar os conhecimentos científicos (agronômicos, veterinários, zootécnicos, ecológicos, sociais, econômicos, antropológicos), aos da cultura popular para a compreensão, avaliação e implementação de sistemas agrícolas, com vistas à sustentabilidade (MDA).

No Estado da Paraíba a Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa (AS-PTA), organização não governamental fundada em 1990, tem como missão institucional promover a agroecologia como paradigma científico-tecnológico para a construção de uma sociedade rural assentada num forte e dinâmico setor de agricultura familiar. Desse ponto de vista, os Programas de Desenvolvimento Local da AS-PTA, executados desde 1993 no Agreste da Paraíba, implementam na região programas de ATER orientados pelo enfoque agroecológico e, desde então, logrou-se estimular a emergência e a capilarização de processos sociais de inovação agroecológica em comunidades rurais de municípios paraibano.

Figura 4 – Cultivo agroecológico (Queimadas)



Fonte: Área da pesquisa.

### 2.1.2 Agricultura familiar convencional

A agricultura convencional é um modo agrícola em que prevalece busca da maior produtividade através da utilização intensa de insumos externos, o que em curto prazo traz resultados econômicos visíveis como o aumento da produtividade e eficiência agrícola. No primeiro momento o aumento da produtividade contribui para a diminuição da migração rural e melhora a distribuição de renda, porém em longo prazo trazem danos ambientais que não são contabilizados pelos adeptos da agricultura convencional, como também são inseridos aparatos tecnológicos que substituem progressivamente a mão-de-obra empregada (SOUZA, 2005).

Atenta-se para o fato de que esta dependência de insumos externos acarretou em prejuízos, pois para aumentar a produtividade houve uso excessivo de fertilizantes químicos e combustível o que no primeiro momento causou uma superprodução, só que posteriormente ocorreram aumentos desses insumos ocasionando diminuição do preço auferido na produção agrícola, devido sua

dependência, e tendo superprodução no mercado (muita oferta) não pode repassar o aumento para os consumidores (Quadro 1).

O preparo convencional, normalmente degrada o solo pela redução de sua cobertura, do estoque de matéria orgânica, promovendo a compactação, a erosão e queda da produtividade (MENDES et al., 2003).

Figura 5 – Cultivo convencional (Queimadas)



Fonte: Área da pesquisa.

Quadro 1 – Comparação entre as tecnologias da Revolução Verde e da agroecologia

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>REVOLUÇÃO VERDE</b>	<b>AGROECOLOGIA</b>
<b>TÉCNICAS</b>		
<b>Cultivos afetados</b>	Trigo, milho arroz, etc.	Todos os cultivos
<b>Áreas afetadas</b>	Na sua maioria, áreas planas e irrigáveis	Todas as áreas, especialmente marginais (dependentes da chuva, encostas declivosas);
<b>Sistema de cultivo dominante</b>	Monocultivos geneticamente uniforme	Policultivos geneticamente heterogêneos
<b>Insumos predominantes</b>	Agroquímicos, maquinário; alta dependência de insumos externos e combustível fóssil	Fixação de nitrogênio, controle biológicos de pragas, corretivos orgânicos, grande dependência nos recursos renováveis
<b>AMBIENTAIS</b>		
<b>Impactos e riscos a saúde</b>	Médios a altos (poluição química, erosão, salinização, resistência a agrotóxicos, etc.); Riscos à saúde na aplicação dos agrotóxicos e nos resíduos destes no alimento;	Nenhum
<b>Cultivos deslocados</b>	Na sua maioria, variedades tradicionais e raças locais.	Nenhum
<b>ECONÔMICAS</b>		
<b>Custos das pesquisas</b>	Relativamente altos	Relativamente baixos
<b>Necessidades financeiras</b>	Altas; Todos os insumos devem ser adquiridos no mercado;	Baixas; A maioria dos insumos está disponível no local;
<b>Retorno financeiro</b>	Alto. Resultados rápidos. Alta produtividade da mão-de-obra.	Médio; Precisa de um determinado período para obter resultados mais significativos; Baixa a média produtividade da mão-de-obra;
<b>Institucionais</b>	Setor semi-público, empresas privadas	Na maioria, públicas; grande envolvimento de ONG's
<b>SOCIOCULTURAIS</b>		
<b>Capacitações necessárias à pesquisa</b>	Cultivo convencional e outras disciplinas de ciências agrícolas.	Ecologia e especializações multidisciplinares
<b>Participação</b>	Baixa (na maioria, métodos de cima para baixo). Utilizados para determinar os obstáculos à adoção das tecnologias.	Alta. Socialmente ativa, induz ao envolvimento da comunidade.
<b>Integração cultural</b>	Muito baixa	Alta. Uso extensivo de conhecimento tradicional e formas locais de organização

Fonte: ALTIERI (2009).

Em termos práticos, a aplicação de princípios agroecológicos aos programas de desenvolvimento rural tem se traduzido em uma diversidade de programas de pesquisa e demonstração e sistemas alternativos de produção (ALTIERE, 2009).

## 2.2 INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO

Na busca da sustentabilidade de sistemas agrícolas o uso de indicadores no monitoramento das condições do solo constitui-se numa importante ferramenta para a tomada de decisões na condução das produções (CUNHA et al., 2005). Saber se um solo apresenta-se comprometido ou limitado em relação a um determinado componente, seja ele físico-químico ou biológico, remete a uma série de reflexões que envolvem aspectos relacionados às atividades agrícolas, principalmente aqueles relativos à fertilidade do solo, além de questões de ordem ambiental relacionadas às alterações naturais e antrópicas do ecossistema (GOMES, 2006).

Avaliações químicas, físicas e biológicas, são de grande necessidade nas possíveis inferências sobre a sustentabilidade do solo, contudo, a maioria destas inferências, considera apenas as propriedades químicas (conteúdo total de carbono orgânico e de nitrogênio) e atributos físicos do solo (DEXTER, 2004).

A manutenção da produtividade dos ecossistemas agrícolas depende, em grande parte, do processo de transformação da matéria orgânica e, por conseguinte, da biomassa microbiana (GAMA-RODRIGUES et al., 2008).

Segundo Venzke Filho, et al. (2008) a quantidade e a composição da biomassa microbiana podem ser influenciadas por diversos fatores, entre eles o sistema de cultivo, a rotação de cultura e a textura do solo.

Desta forma, torna-se de fundamental importância a avaliação dos indicadores mais sensíveis às práticas de manejo, visando ao monitoramento dos impactos positivos ou negativos sobre o solo.

### 2.2.1 Indicador físico do solo

Do ponto de vista das atividades agrícolas, os indicadores físicos assumem importância por estabelecerem relações fundamentais com os processos hidrológicos, tais como taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão. Possuem também função no suprimento e armazenamento de água, de nutrientes e de oxigênio no solo (Quadro 2).

#### 2.2.1.1 Textura

Um dos principais indicadores físicos de qualidade de solo sob o ponto de vista agrícola é textura (GOMES, 2006). A textura ou granulometria refere-se, especificamente, às proporções relativas das partículas ou frações de areia, silte e argila na terra seca ao ar (TFSA). É a propriedade física do solo que menos sofre alteração ao longo do tempo, influenciando algumas propriedades e comportamentos dos solos (ANDRADE et al., 2007), como demonstrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Influências das frações do solo sobre algumas das suas propriedades e comportamentos dos solos

<b>Propriedade/comportamento</b>	<b>AREIA</b>	<b>SILTE</b>	<b>ARGILA</b>
<b>Capacidade de retenção de água</b>	Baixa	Média a alta	Alta
<b>Teor de matéria orgânica</b>	Baixo	Média a alta	Alto a médio
<b>Capacidade de armazenamento de nutrientes</b>	Pouca	Média a alta	Alta

Fonte: Brady (2013).

Desta forma, constata-se que a proporção de partículas, de acordo com esses limites de diferentes tamanhos, tem uma profunda influência sobre diversas propriedades do solo e afeta a aptidão de um solo em relação à maioria dos seus usos (BRADY, 2013).

## 2.2.2 Indicadores químicos do solo

Os indicadores químicos apresentam relevância nos estudos, tanto agronômicos quanto ambientais, normalmente agrupados em quatro classes. Dentre estas classes há aqueles que indicam os processos do solo ou de comportamento (pH, carbono orgânico, matéria orgânica e matéria orgânica leve) e aqueles que indicam as necessidades nutricionais das plantas (nitrogênio e fósforo), (GOMES e FILIZOLA, 2006).

Esses indicadores são importantes, pois controlam em grande parte a atividade biológica do solo e conseqüentemente, a produção vegetal. Portanto, indica se as condições estão adequadas para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, bem como para a manutenção da diversidade de organismos que habitam o solo (DORAN e PARKIN, 1994).

### 2.2.2.1 Índice de pH

O pH, influencia as reações dos elementos químicos e atividade biológica do solo. Exerce influência na decomposição da matéria orgânica e liberação dos nutrientes para as plantas. A maioria dos nutrientes essenciais tem suas forma e disponibilidade alteradas no solo em função do pH (IPA, 2008).

Silva (2013), estudando atributos químicos em diferentes agroecossistemas, concluiu que em solo manejado agroecologicamente o pH pode variar entre 5,5 a 6,0, o que interferiu na disponibilidade do alumínio e também da acidez potencial ( $H + Al$ ).

### 2.2.2.2 Carbono Orgânico Total (COT)

Os vegetais são os principais responsáveis pela adição ao solo de compostos orgânicos primários sintetizados no processo de fotossíntese, que dependendo da quantidade de resíduos depositados no solo poderá resultar em aumento no teor de carbono orgânico (CO) do solo (FARIA et al. 2008).

A adição de matéria orgânica na forma de material vegetal pode alterar significativamente, em curto prazo, o aporte e qualidade do carbono (C) que é incorporado no sistema agrícola, bem como os atributos químicos do solo (LOSS et al. 2009). Assim, conhecer as alterações no conteúdo do carbono orgânico total (COT), pode ajudar a compreender os processos da dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS).

O balanço de carbono (C) no solo é dependente da relação entre as adições de C fotossintetizado pelas plantas (parte aérea e raízes) e as perdas de C para a atmosfera resultante da oxidação microbiana do carbono orgânico (COT) a dióxido de carbono CO<sub>2</sub> (COSTA, 2006).

Segundo Cunha et al., (2011), o carbono orgânico sob mata foi maior do que sob as plantas de cobertura, provavelmente pelo grande aporte de resíduos orgânicos, não revolvimento do solo e reduzida erosão hídrica pela maior cobertura do solo.

### 2.2.2.3 Nitrogênio (N)

A escassez de nitrogênio é um dos fatores nutricionais limitantes e de ocorrência abrangente que afeta a produtividade dos ecossistemas terrestres. Além disso, ele é um elemento superaplicado em alguns agroecossistemas (BRANDY e WEIL, 2013).

Muitas espécies vegetais são exigentes em teores de nitrogênio (N) para produzirem. Deficiências de N são notadas nas folhas das plantas que, normalmente, tornam-se amareladas ou com uma coloração mais pálida (GOMES e FILIZOLA, 2006).

Contudo, quando o N é fornecido em grande quantidade, ocorre crescimento vegetativo excessivo, provocando o tombamento das plantas mais altas e o retardamento da maturação da planta, bem como elas se tornarem mais suscetíveis a doenças e pragas (BRANDY e WEIL, 2013).

#### 2.2.2.4 Fósforo (P)

Segundo Brady (2013), o fósforo também é um nutriente limitante e, geralmente, é ainda mais escasso do que o nitrogênio nos ecossistemas terrestres.

O fósforo no solo tem relações com o aumento dos processos da fotossíntese, da fixação de nitrogênio, da floração, da frutificação e da maturação (BRADY e WEIL, 2013).

Inicialmente, a planta se serve do P armazenado na semente para seu crescimento. Na próxima etapa, o crescimento é influenciado pela interação entre o P disponível externamente e na própria planta (GRANT et al., 2001).

De forma geral o teor de P disponível para as plantas é baixo na maior parte da região semiárida. Neste contexto, a ciclagem de fósforo está relacionada principalmente ao P nativo do solo (SOUZA et al., 2014).

#### 2.2.2.5 Matéria Orgânica do Solo (MOS)

Em muitos solos, a percentagem de matéria orgânica é pequena, mas sua ação nas funções do solo é enorme. Esse componente do solo está em constante mudança, exerce significativa influência em muitas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (BRADY, 2013).

Estudos têm demonstrado que determinados compartimentos da MOS são capazes de detectar, mais rapidamente, as mudanças nos conteúdos de C no solo associadas ao manejo. As reduções nestes compartimentos são, de modo geral, maiores que as observadas, quando se considera apenas o conteúdo total de carbono do solo (JANZEN et al., 1992).

Silva et al. (2013), constataram que a MOS em sistemas agroecológicos apresentara-se superiores aos encontrados nos sistemas convencionais. Provavelmente pelos manejos menos intensivos que promovem um acréscimo considerável de carbono no solo.

### 2.2.2.6 Matéria Orgânica Leve (MOL)

A matéria orgânica leve (MOL) é constituída por resíduos orgânicos parcialmente humificados em vários estágios de decomposição e apresenta um tempo de residência no solo que varia de 1 a 5 anos (JANZEN et al., 1992). A manutenção desse compartimento, portanto, torna-se fundamental para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, uma vez que este representa, em curto e médio prazo, potencial para ciclagem de nutrientes (COMPTON, BOONE, 2002).

Segundo Pérez (2006), o MOL do solo foi melhor indicador do que o COT, para detectar mudanças causadas pelo manejo da cobertura vegetal em solos de sistemas agroflorestais no agreste paraibano. Assim a matéria orgânica leve apresenta-se como um indicador mais responsivo à interação dos efeitos dos sistemas de manejo e culturas agrícolas convencionais e pousio, em comparação ao carbono orgânico total (PEREIRA, et al., 2010).

### 2.2.3 Indicador bioquímico do solo

A análise de indicadores bioquímicos de qualidade do solo é fundamentalmente relevante quando se deseja obter informações sobre o desempenho de funções-chave do solo, como a capacidade de ciclagem e armazenamento de nutrientes. São indicadores que apresentam maior sensibilidade aos sistemas de produção agrícola, também constituem indicadores sensíveis às alterações ambientais e servem como ferramenta para orientar o planejamento e avaliar as práticas de manejo do solo (SPADOTTO et al., 2004).

#### 2.2.3.1 Glomalina

A glomalina é considerada uma proteína estável e abundante no solo (RILLIG et al., 2003), encontrando-se estreitamente correlacionada com a estabilidade de agregados e com o carbono (C) e o nitrogênio (N) do solo (NICHOLS e WRIGHT, 2006) e produzida por fungos micorrizicos arbusculares (FMA). Em estudos de

campo sobre indicadores da atividade dos FMA, a quantificação do teor de glomalina no solo apresenta-se como uma avaliação rápida, barata, objetiva e relativamente fácil de ser realizada (PURIN; RILLING, 2007).

Segundo Souza et al., (2011), solos da região semiárida da Paraíba, com maiores teores de carbono orgânico, apresentaram também maiores concentrações de glomalina, provavelmente por ser o carbono orgânico um dos indicadores mais consistentes desta concentração.

#### 2.2.3.2 Fosfatase

As fosfatases são enzimas fundamentais na mineralização do fósforo e na ciclagem deste nutriente no ambiente. São amplamente distribuídas no solo e são muito estudadas porque catalisam a hidrólise de fósforo inorgânico, disponibilizando-o assim para as plantas. De acordo com o seu pH ótimo de ação, podem ser classificadas como ácidas (pH 6,5) ou alcalinas (pH 11) (TABATABAI, 1994; TURNER e HAYGARTH, 2005).

Enzimas fosfatases são afetadas pelas práticas de manejo do solo e têm importância no ciclo do fósforo (AON et al., 2001).

Apesar do crescente interesse em aspectos relacionados ao funcionamento biológico do solo sob sistemas naturais e agrícolas, estudos sobre o impacto na população e na atividade microbiana em diferentes sistemas de manejo são relativamente recentes e ainda pouco conclusivos (D'ANDRÉA et al. 2002; MENDES et al. 2003).

#### 2.2.4 Indicadores microbiológicos

Segundo Dick et al., (1996), as comunidades microbianas do solo são responsáveis por inúmeros processos e funções, como a decomposição de resíduos, e ciclagem de nutrientes, bem como possuem elevado potencial para a avaliação da qualidade do solo em sistemas agrícolas, por apresentarem alta sensibilidade, permitindo avaliações logo após a ocorrência das perturbações no solo (GIL-SOTRES et al., 2005).

Entretanto, pouco se conhece sobre as alterações nas características da microbiota do solo e enzimáticas, que podem contribuir como um dos indicadores de respostas rápidas aos estresses de ecossistemas visando a caracterização da qualidade do solo, cujo monitoramento torna-se um elemento-chave para a gestão ambiental dos agroecossistemas a longo prazo (MENDES et al., 2009).

#### 2.2.4.1 Biomassa Microbiana (BM)

A biomassa é um importante reservatório de nutrientes no solo que se recicla rapidamente, tornando-os disponíveis para as plantas. Ela é composta por muitos elementos essenciais ao desenvolvimento desses seres vivos, regulando o fornecimento e a disponibilidade, de alguns elementos, como N, P e K no solo (SMITH e PAUL, 1990). É definida como componente microbiano vivo, composto por bactérias, fungos, microfauna e algas, sendo a principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, fluxo de energia, transformação da MOS e imobilização temporária de nutrientes e carbono (TÓTOLA e CHAER, 2002).

Alguns autores utilizam a avaliação da biomassa microbiana como indicativo de qualidade de solo. Matsuoka et al. (2003), trabalhando com solos do cerrado brasileiro, concluíram que o carbono da biomassa microbiana, juntamente com outros indicadores biológicos, foi sensível para indicar alterações devido ao uso agrícola com diferentes sistemas de produção.

Lopes et al. (2012), avaliando solos do semiárido cearense, sob cultivo de melão e mata natural, identificou que a biomassa microbiana apresentou valores maiores nas área de mata natural, provavelmente, devido a maior quantidade de resíduos vegetais nesta área.

#### 2.2.4.2 Fungos micorrízicos

Uma das atividades ecológicas e economicamente mais importantes dos fungos do solo é a associação mutualística benéfica entre certos fungos e as raízes das plantas superiores, chamada de micorriza (raiz fúngica). As micorrizas aumentam

muito a capacidade das plantas em assimilar fósforo e outros nutrientes relativamente imóveis ou estão presentes em baixas concentrações na solução do solo (BRADY e WEIL, 2013).

Segundo Silva et al (2012), a diversidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo aumenta com o reflorestamento. O consórcio de eucalipto com leguminosa promove aumento na diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em relação ao monocultivo do eucalipto.

### 2.3 CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DOS SOLOS

A termogravimetria é um conjunto de técnicas que permite medir as mudanças de uma propriedade física ou química de uma substância ou material em função da temperatura ou tempo, enquanto a substância é submetida a uma programação controlada de temperatura. As áreas de aplicação da análise térmica incluem os seguintes estudos: decomposição térmica; determinação dos teores de cinzas; oxidação térmica; cinética de reação; diagrama de fases; determinação de calor específico e outras (MOTHÉ e AZEVEDO, 2009).

Diferentes autores citam a análise termogravimétrica como alternativa no estudo da matéria orgânica do solo, considerando ser uma metodologia de auxílio na avaliação da capacidade do solo em reter material orgânico (SILVERO e GONÇALVES, 2008; CUNHA et al., 2007).

Segnini et al. (2008), realizando estudos comparativos de métodos para determinação de composição de carbono em solos, caracterizou pelo método termogravimétrico 4 regiões de perda de massa no intervalo de 25 a 600 °C. Mostrando perda de massa referente à água livre e perda de massa devida à decomposição da MO.

### 2.4 CONSIDERAÇÕES DOS INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLOS

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, animais e do próprio ser humano (DORAN et al., 1996; SPOSITO e ZABEL, 2003).

Contudo, avaliar a qualidade do solo necessita de monitoramento de diferentes parâmetros que possam contribuir para o melhor entendimento do funcionamento do sistema solo, considerando as mudanças no manejo e/ou fatores externos, ajudando assim na possível orientação aos produtores no manejo de seus solos de maneira mais produtiva e sustentável.

## **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGIA**

---

### 3 METODOLOGIA

Nesta etapa serão descritos os procedimentos metodológicos utilizados para determinar o índice dos indicadores dos solos sob sistema em transição agroecológica e convencional em diferentes regiões da Paraíba.

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO

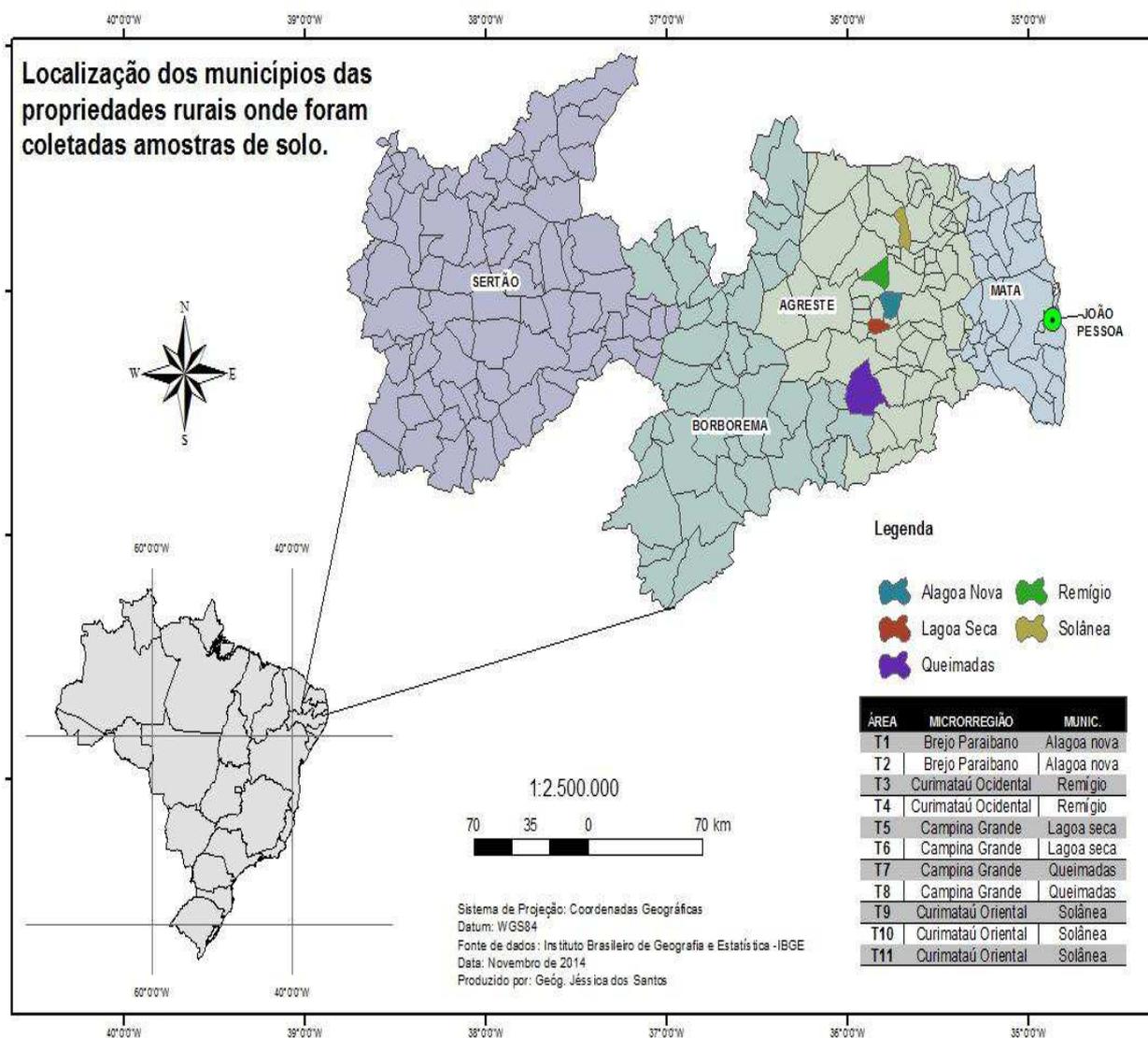
O presente estudo foi desenvolvido na Mesorregião do Agreste-Brejo da Paraíba, compreendendo as microrregiões: Brejo Paraibano, Curimataú Ocidental, Curimataú Oriental e Campina Grande, tal como definida pelo IBGE (2000). Dentro dessas microrregiões, foram estudados solos dos municípios Alagoa Nova, Queimadas, Lagoa Seca, Remígio e Solânea (Quadro 3).

Quadro 3 – Microrregiões do estudo

ÁREA	MICRORREGIÃO/MUNICÍPIO	SISTEMA	LATITUDE	LONGITUDE	SOLO
T1	Brejo Paraibano/Alagoa Nova	A	7° 4' 5"	35° 45' 40" Oeste	Argissolo Vermelho
T2	Brejo Paraibano/Alagoa Nova	C	7° 4' 5"	35° 45' 40" Oeste	Argissolo Vermelho
T3	Curimataú Ocidental/Remígio	A	6° 53' 30"	35° 49' 51" Oeste	Neossolo Regolítico
T4	Curimataú Ocidental/Remígio	C	6° 53' 30"	35° 49' 51" Oeste	Neossolo Regolítico
T5	Campina Grande/Lagoa Seca	A	7° 10' 8"	35° 51' 20" Oeste	Neossolo Regolítico
T6	Campina Grande/Lagoa Seca	C	7° 10' 8"	35° 51' 20" Oeste	Neossolo Regolítico
T7	Campina Grande/Queimadas	A	7° 21' 29"	35° 54' 7" Oeste	Vertissolo
T8	Campina Grande/Queimadas	C	7° 21' 29"	35° 54' 7" Oeste	Vertissolo
T9	Curimataú Oriental/Solânea	A	6° 45' 58"	35° 43' 3" Oeste	Argissolo Vermelho-Amarelo
T10	Curimataú Oriental/Solânea	C	7° 45' 58"	35° 43' 3" Oeste	Argissolo Vermelho-Amarelo
T11	Curimataú Oriental/Solânea	A	8° 45' 58"	35° 43' 3" Oeste	Argissolo Vermelho-Amarelo
T12	Curimataú Oriental/Solânea	C	9° 45' 58"	35° 43' 3" Oeste	Argissolo Vermelho-Amarelo

Fonte: Campos et al. (2006).

Figura 6 – Mapa da Paraíba



As amostras foram realizadas em propriedades de agricultores familiares, sendo selecionadas 2 propriedades por município e cultivo agroecológico e convencional (Quadro 4).

Quadro 4 – Identificações das áreas de agricultores familiares

ÁREA	SISTEMA	HISTÓRICO
T1	A	Cultivo citros e banana há dez anos
T2	C	Área limpa por queima e sem cultivo há um ano
T3	A	Antiga cultura de feijão e milho, há dois anos em pousio
T4	C	Cultivo de milho há seis anos
T5	A	Cultivo laranja, banana e girassol há dez anos
T6	C	Fava, hortaliças e adubação química há dez anos
T7	A	Palma, leguminosas, nim, adubação com esterco há cinco anos
T8	C	Palma e adubação com esterco há cinco anos
T9	A	Cultivo de leguminosas e sorgo há dez anos
T10	C	Cultivo feijão há dez anos
T11	A	Bosque gliricídia, nim, algaroba, cactáceas há dez anos
T12	C	Cultivo feijão há dez anos

Fonte: Dados da pesquisa (2014).

Figura 7 – Cultivo agroecológico (Brejo – T1)



Fonte: Área de pesquisa.

Figura 8 – Cultivo convencional (Curimataú ocidental – T4)



Fonte: Área de pesquisa.

Figura 9 – Cultivo agroecológico (Curimataú oriental – T11)



Fonte: Área de pesquisa.

Figura 10 – Áreas convencional (à esquerda) e agroecológica (à direita)



Fonte: Área de pesquisa.

### 3.2 COLETAS DO SOLO

Foram coletadas em cada área de estudo, 10 sub-amostras de solo na profundidade de 0-20 cm, com distância de 20 m entre si, para formar a amostra composta do solo de cada área, representando assim a área total. As amostras foram transferidas para sacos plásticos devidamente identificados. O solo foi seco ao ar, destorroado, homogeneizado e peneirado em peneira com abertura de 2 mm. As análises físicas e químicas do solo foram realizadas no laboratório de fertilidade do solo no departamento de energia nuclear da Universidade Federal de Pernambuco.

Figura 11 – Coleta de solo



Fonte: Área de pesquisa.

### 3.3 INDICADOR FÍSICO DO SOLO

Pesou-se 50 gramas de terra fina seca ao ar (TFSA), utilizando-se como dispersante solução de hidróxido de sódio ( $1\text{ mol L}^{-1}$ ), determinando-se o teor de argila pelo método de densímetro. O material que ficou retido em peneira de malha 0.053mm foi seco na estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  e pesado, obtendo-se a fração areia (EMBRAPA, 1997).

Para argila dispersa em água (ADA), utilizou-se o mesmo procedimento, sem a presença de hidróxido de sódio como dispersante, fazendo apenas a leitura da argila com o densímetro de Boyoucos.

No Quadro 5 é possível observar os valores (%) referentes à argila, areia e silte, bem como a classificação dos solos coletados.

Quadro 5 – Classificação e textura do solo

ÁREA	SISTEMA	ARGILA (%)	AREIA (%)	SILTE (%)	TEXTURA	CLASSIFICAÇÃO
T1	A	16,3	70,5	13,2	Médio	Argissolo Vermelho
T2	C	24,4	62,3	13,2	Médio	Argissolo Vermelho
T3	A	8,1	79,9	12,1	Arenoso	Neossolo Regolítico
T4	C	5,0	82,9	12,1	Arenoso	Neossolo Regolítico
T5	A	16,3	70,5	13,2	Médio	Neossolo Regolítico
T6	C	24,4	62,3	13,2	Médio	Neossolo Regolítico
T7	A	16,5	71,2	12,3	Arenoso	Vertissolo
T8	C	18,4	71,3	10,2	Arenoso	Vertissolo
T9	A	5,0	84,9	10,1	Arenoso	Argissolo Vermelho-Amarelo
T10	C	5,0	88,9	6,0	Arenoso	Argissolo Vermelho-Amarelo
T11	A	5,0	88,9	6,0	Arenoso	Argissolo Vermelho-Amarelo
T12	C	7,1	88,9	4,0	Arenoso	Argissolo Vermelho-Amarelo

Fonte: Dados da pesquisa (2014).

### 3.4 INDICADORES QUÍMICOS DO SOLO

Foram determinados o pH em água (1:25), onde foi transferido 10 cm<sup>3</sup> de terra para cilindro plástico e para determinação do pH em água, adicionou-se 25 ml de água destilada e, separadamente, para o pH em KCl 1 N, 25 ml da solução de KCl 1 N. Agitou-se mecanicamente durante quinze minutos, com espera mínima de trinta minutos e procedeu-se à leitura.

P disponível extraído por Mehlich-1 e determinado por colorimetria (MURPHY E RILEY, 1962), quando as amostras foram agitadas durante 16h em agitador tipo Wagner, a 30 rotações por minuto (rpm). Após a agitação, procedeu a separação do solo da solução, através da centrifugação a 5.000 rpm, por 14 minutos, procedendo as determinações de fósforo no sobrenadante.

C orgânico por oxidação com K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1,25 molc L<sup>-1</sup> em meio ácido (SNYDER & TROFYMOW, 1984), onde pesou-se 0,5 g de solo, passado em peneira de 0,015 mm, em tubo de digestão com tampa. Ao tubo acrescentou-se 1,0 g de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> p.a. e 25 mL de uma mistura digestora constituída de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> concentrados na proporção 3:2. Para cada bateria de amostras acrescentou-se 4 brancos. Em um

tubo de vidro pequeno, que ficou inserido dentro do tubo de digestão, adicionou-se 2 mL de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>, para captação do CO<sub>2</sub> liberado durante a digestão. Os tubos foram colocados em placa digestora por 2 horas a uma temperatura de 120°C. Após a digestão, esperou-se no mínimo 12 horas para iniciar a quantificação, tempo necessário para total captação do CO<sub>2</sub> liberado na digestão. Abriu-se um tubo de cada vez, retirou-se o tubo pequeno e transferiu-se o volume de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> para um béquer de 250 mL lavando o tubinho com bastante água deionizada. A quantificação foi feita por titulação potenciométrica com HCl 0,25 mol L<sup>-1</sup> (Sampaio e Salcedo, 1982).

Matéria orgânica foi estimada multiplicando-se o conteúdo de C orgânico por 1,724.

N total pelo método Kjeldahl (Embrapa, 1997), quando ocorre a digestão da amostra a 400°C com ácido sulfúrico concentrado, em presença de sulfato de cobre como catalisador que acelera a oxidação da matéria orgânica. O nitrogênio presente na solução ácida resultante é determinado por destilação por arraste de vapor, seguida de titulação com ácido diluído.

### 3.4.1 Matéria Orgânica Leve (MOL)

Para avaliar a matéria orgânica leve, pesou-se de 50g de solo (fração < 2 mm), as amostras foram passadas por peneira de 0,5 mm, com a ajuda de um almofariz. Em seguida, esse material foi colocado em uma peneira de 0,053 mm e lavado com água de torneira até que a mesma saísse limpa, indicando que as frações de argila e silte tinham sido lavadas da amostra. O material retido na peneira foi colocado em um reservatório de PVC, adaptado com uma entrada de água na parte média e uma saída na parte superior. Após colocar água no reservatório, precedeu-se à separação do material leve por flotação, após um ou mais ciclos de agitação com bastão de vidro e sedimentação.

Quando a suspensão pareceu límpida, permitiu-se a entrada lenta de água até que o material em flotação saía pela saída superior. Este material foi recolhido em uma tela e lavado com água deionizada, seco em estufa a 60 °C e pesado (Fraga, 2002). O Quadro 6 mostra os indicadores químicos do solo.

Quadro 6 – Indicadores químicos do solo

ÁREA	SISTEMA	pH (H <sub>2</sub> O)	P(mg kg <sup>-1</sup> )	N%	g de MOL/kgde TFSA	MICRORREGIÃO
T1	A	7,4	133	0,32	0,42	Brejo Paraibano
T2	C	5,2	32,6	0,26	0,50	Brejo Paraibano
T3	A	5,7	10,1	0,16	0,66	Curimataú Ocidental
T4	C	5,6	8,1	0,07	0,12	Curimataú Ocidental
T5	A	7,2	96,5	0,29	0,30	Campina Grande
T6	C	7,7	209,3	0,35	0,28	Campina Grande
T7	A	6,6	266,9	0,18	0,72	Campina Grande
T8	C	6,3	179,7	0,13	0,14	Campina Grande
T9	A	7,3	30,5	0,17	0,30	Curimataú Oriental
T10	C	7,0	33,0	0,06	0,26	Curimataú Oriental
T11	A	6,6	63,9	0,13	0,44	Curimataú Oriental
T12	C	7,2	10,1	0,09	0,28	Curimataú Oriental

Fonte: Dados da pesquisa (2014).

### 3.5 INDICADORES BIOQUÍMICOS DO SOLO

#### 3.5.1 Glomalina

A quantificação da glomalina facilmente extraível (GFE) foi realizada através do método proposto por Wright & Upadhyaya (1998). Amostras de solo foram pesadas e secas em estufa à 60° C por 48 horas. Em seguida pesou-se 1 g de solo em tubos Falcon com capacidade para 50 ml, em replicatas. Adicionou-se 8 ml de tampão citrato de sódio 20 mM, pH 7,0, a cada tubo, que foram autoclavados por 30 minutos a 121° C. Em seguida os frascos foram centrifugados a 5000 rpm por 10 minutos. Para determinar a concentração de glomalina, pipetou-se 100 µL do extrato em tubo de ensaio, adicionando 2 ml do reagente de Bradford aos tubos. Após esse procedimento os tubos foram levados para agitação em vórtex, aguardando-se 10 minutos para iniciar leitura de absorbância em espectrofotômetro a 595 nm.

### 3.5.1 Fosfatase

O teor de fosfatase ácida foi determinado pelo método de Tabatabai e Bremner (1969), onde de cada amostra foram pesados 4 x 2 g de solo (dois brancos e duas amostras) e adicionados 8 mL de tampão MUB (pH 6,5) e 2 mL de p-nitrofenilfosfato (apenas nas amostras). A suspensão foi incubada a 37 °C em banho maria por 1 hora. Em seguida, foram acrescentados 2 mL de CaCl<sub>2</sub> 0,5 M e 8 mL de NaOH 0,5 M, e apenas nos brancos, foi adicionado 2 mL da solução de p-nitrofenilfosfato. A suspensão foi agitada durante 5 a 10 minutos, filtrada e realizada a quantificação do teor de fosfatase ácida (ug p-np g<sup>-1</sup> solo). O Quadro 7 mostra os indicadores bioquímicos.

Quadro 7 – Indicadores bioquímicos

ÁREA	SISTEMA	Glomalina (mg g <sup>-1</sup> )	F.A.fosfatase(ug p-np g <sup>-1</sup> )
T1	A	1,86	0,12
T2	C	2,10	0,16
T3	A	1,31	0,13
T4	C	0,86	0,17
T5	A	2,26	0,13
T6	C	1,56	0,19
T7	A	1,62	0,11
T8	C	1,29	0,10
T9	A	0,72	0,17
T10	C	0,90	0,18
T11	A	0,79	0,17
T12	C	1,15	0,21

Fonte: Dados da pesquisa (2014).

## 3.6 INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

### 3.6.1 Biomassa Microbiana (BM)

As amostras para determinação da biomassa microbiana foram armazenadas em sacos de polietileno sob refrigeração ( $\pm 4^{\circ}\text{C}$ ). Para a realização das análises, as amostras foram homogeneizadas e peneiradas a 4 mm, sendo retirada uma porção de 50g de solo de cada amostra. O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi

determinando segundo o método proposto por Jenkinson e Powlson (1976) de fumigação-incubação com algumas modificações descritas a seguir.

Foram utilizadas duas sub-amostras de cada amostra, com teor de umidade equivalente a 75% da capacidade de campo. Uma delas pesando 50g foi colocada em recipiente de vidro com tampas herméticas e capacidade de 800 ml. A segunda amostra, pesando 45g, foi colocada em copo de vidro de 200 ml e fumigada em dessecador acoplado a uma bomba de vácuo, contendo um Becker de 50 ml com 20 ml de clorofórmio livre de álcool e com as paredes forradas com papel úmido. As amostras de solo foram mantidas em dessecador por 24 horas. Após o período de fumigação, o vapor de clorofórmio foi retirado através de evacuações sucessivas, sendo as amostras então retiradas do dessecador e colocadas também em recipientes de vidro com tampas herméticas e capacidade de 800 ml. Os solos fumigados foram reinoculados com 5,0 g de solo, da mesma amostra original. Com uma espátula, foi realizada a homogeneização de todas as amostras de solo e em cada vidro, será colocado um copo plástico de 80 ml, contendo 20 ml de NaOH 0,5 M. As amostras foram mantidas no escuro por dez dias à temperatura ambiente. A quantidade de CO<sub>2</sub> liberada do solo foi determinada após adição de 3,0 ml de BaCl<sub>2</sub> 30% e posterior titulação com HCl 0,3 M, usando fenolftaleína 1% como indicador. Foram utilizados como controle, três recipientes de vidro sem solo contendo a mesma solução de NaOH. Para o cálculo da quantidade de CO<sub>2</sub> liberada, tanto das amostras fumigadas, quanto não fumigadas, foi utilizada a seguinte fórmula, proposta por Jenkinson et al. (1976).

$$\text{mg C-CO}_2 = (C-A) \cdot M \cdot E$$

Onde:

C= volume (ml) do ácido usado para titular a base referente ao controle;

A= volume (ml) do ácido usado para titular a base referente a amostra fumigada ou não fumigada;

M= molaridade do ácido;

E= equivalente grama do carbono (6).

O carbono da biomassa microbiana foi calculado pela diferença entre o CO<sub>2</sub> liberado das amostras fumigadas (Fc) e amostras não fumigadas (NFc), utilizando um fator de correção de 1,73 para as amostras fumigadas e 0,56 para as amostras não fumigadas, conforme a fórmula abaixo, proposta por Horwath et al., (1996).

$$\text{CBM} = 1,73\text{Fc} - 0,56\text{NFc}$$

Onde:

CBM= carbono da biomassa microbiana;

Fc= C-CO<sub>2</sub> liberado pelo solo fumigado no período de 10 dias;

NFc= C-CO<sub>2</sub> liberado pelo solo não fumigado no período de 10 dias;

Os dados de carbono da biomassa microbiana foram expressos em mg C-CO<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup> de solo seco.

### 3.6.2 Fungos micorrízicos

Esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) foram extraídos de 50g de solo através da técnica do peneiramento úmido (GERDEMANN,1963), utilizando peneiras com malhas de 38 mm, seguida por centrifugação em água e solução de sacarose 50% (JENKINS, 1964). Após a contagem, os esporos foram transferidos para uma placa de Petri, e uma quarta parte do total foi separada aleatoriamente. Esses foram agrupados pelas características de tamanho, cor e forma, sendo os grupos colocados em lâminas com álcool polivinil em lactoglicerol (PVLG) e quebrados delicadamente, sob a lamínula, para a exposição das paredes internas. Na mesma lâmina, um segundo grupo de esporos foi montado com PVLG + reagente de Melzer (1:1), sob outra lamínula. Os resultados da reação de cor ao reagente de Melzer foram utilizados para caracterizar as paredes dos esporos, melhorando, em alguns casos, a visibilidade, especialmente daqueles esporos com paredes aderentes ou muito finas. Os esporos foram, então, identificados e quantificados por espécie.

A avaliação da viabilidade dos esporos foi realizada sob lupa estereoscópica, pela técnica de adição de cloreto de trifeniltetrazolio (10 g.L<sup>-1</sup>) conforme metodologia proposta por Walley & Germida (1995).

O Quadro 8 mostra os indicadores microbiológicos do solo.

Quadro 8 – Indicadores microbiológicos do solo

ÁREA	SISTEMA	B.M.( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	N.E.esporos( $50 \text{ g}^{-1}$ ) V	N.E.esporos( $50 \text{ g}^{-1}$ ) NV
T1	A	485,2	3	4
T2	C	304,8	9	15
T3	A	370,7	5	7
T4	C	400,3	9	14
T5	A	391,5	9	13
T6	C	489,1	4	11
T7	A	324,9	3	4
T8	C	88,8	4	5
T9	A	331	2	3
T10	C	332,1	4	7
T11	A	321,9	10	14
T12	C	53,5	9	12

Fonte: Dados da pesquisa (2014).

### 3.7 CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA

#### 3.7.1 Termogravimetria (TGA) e Termogravimetria Derivada (DTGA)

As curvas termogravimétricas (TGA) foram obtidas em uma termobalança, marca SHIMADZU, modelo DTG – 60H, em uma atmosfera de nitrogênio num fluxo de  $50 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ . Todas as análises foram conduzidas usando um cadinho de alumina, razão de aquecimento de  $10^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , numa faixa de temperatura que partiu da ambiente até  $600^\circ\text{C}$ . A massa utilizada em todas as amostras ficou em torno de  $5,0 \pm 0,5 \text{ mg}$ . As curvas DTGA foram obtidas usando o software SHIMADZU TA 60. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Termoanálises que se encontra no Laboratório de Caracterização de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS e DISCUSSÃO**

---

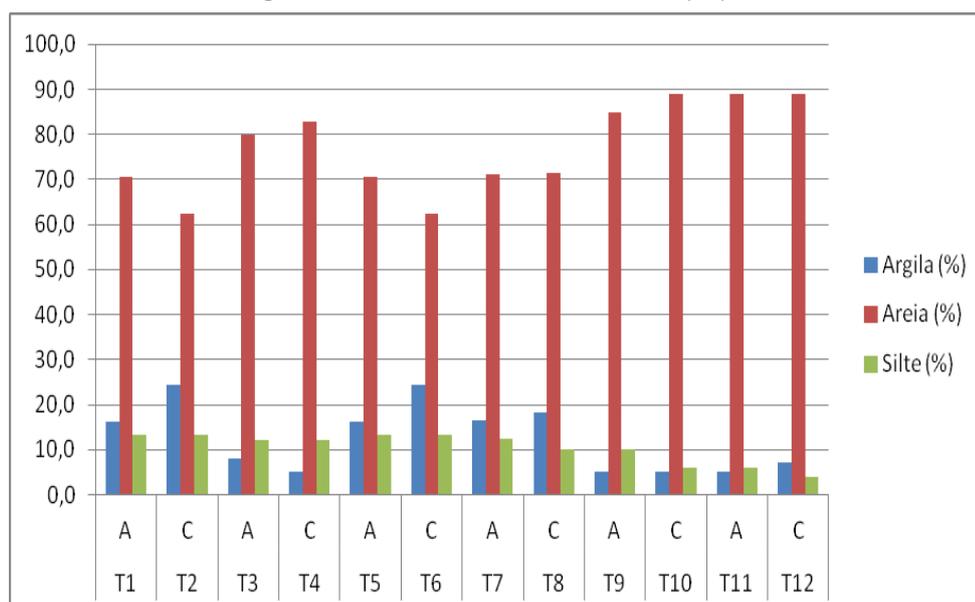
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados dos indicadores estudados no estudo dos solos da Mesorregião Agreste Paraibano.

### 4.1 INDICADORES FÍSICOS DOS SOLOS

Na Figura 12 são apresentados os teores de argila, areia e silte encontrados para as amostras de solo da mesorregião Agreste Paraibano. Estes resultados mostraram que os solos estão entre três dos cinco grandes grupos de classes de textura para a separação dos solos do Brasil (EMBRAPA, 2006), em que a sua maioria encontra-se entre arenoso e franco argilo arenosa, considerados, em geral, como solos com textura média e bem drenados, que possuem boas condições físicas e relativa eficiência produtiva. Porém, solos classificados como arenosos, neste caso os solos T4, T9, T10, T11 e T12, apresentam alta taxa de drenagem, baixa capacidade de retenção de nutrientes e teor de matéria orgânica (EMBRAPA, 2006).

Figura 12 – Indicadores físicos (%)



Fonte: Autora (2014).

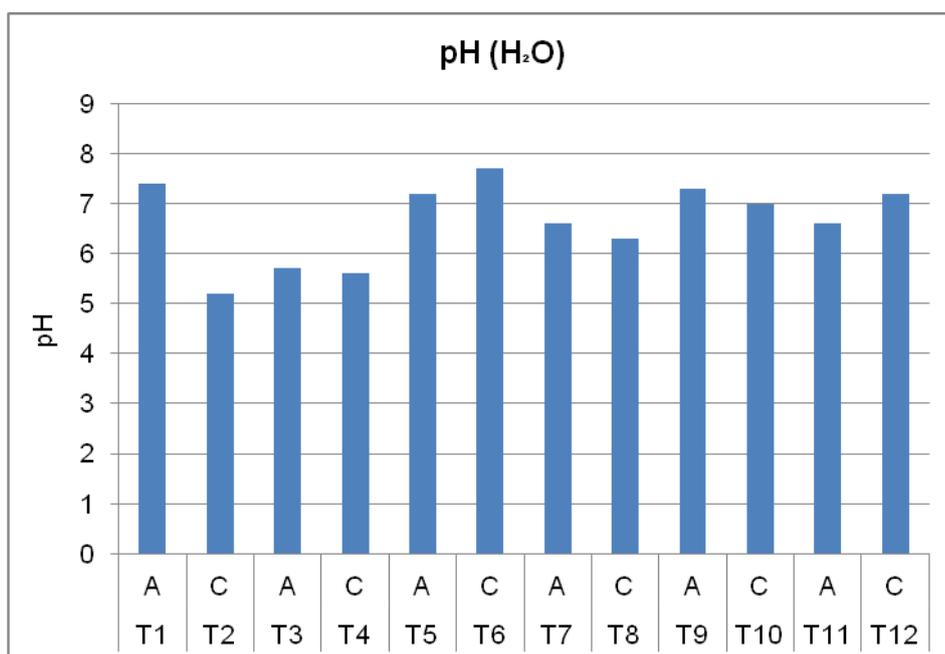
## 4.2 INDICADORES QUÍMICOS DOS SOLOS

### 4.2.1 pH e Fósforo (P)

Entre os resultados, observam-se os valores do pH, que influencia as reações dos elementos químicos e a atividade biológica do solo. Em geral é na faixa de pH entre 6,0 e 7,0 que se tem as melhores condições químicas para o desenvolvimento das culturas (EMBRAPA, 2008). Na Figura 13 é possível visualizar que os tratamentos T7, T8 e T10 encontram-se dentro das melhores condições de desenvolvimento vegetal. Considera-se desfavorável às plantas quando o pH do solo está abaixo de 4,5 ou acima de 7,5. Nos resultados abaixo, apenas o T6, apresenta pH numa condição desfavorável. Esses resultados estão coerentes com os encontrados por Zoz et al.(2009), quando mostrou que o aumento do pH do solo proporciona maior disponibilidade de P no solo, porém esse aumento de pH reduz a adsorção de P no solo.

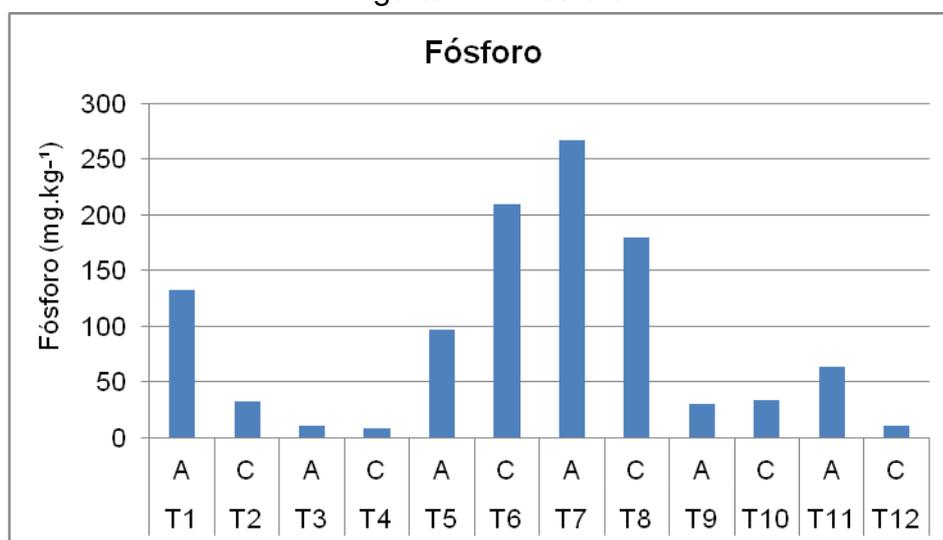
Reinaldo et al. (2009), estudando solos da Mesorregião do Agreste paraibano, considerou que sendo esta mesorregião marcada por uma heterogeneidade ambiental e as diferentes microrregiões inseridas na mesorregião do agreste, verificou grande variação nos índices de pH com amplitude de 3,3 – 7,8.

O nutriente fósforo atua como componente estrutural das membranas celulares, bem como fazendo parte de compostos responsáveis pela fixação do CO<sub>2</sub> atmosférico e pelo metabolismo de açúcares. Os teores de fósforo encontrados (Figura 14) estão dentro das médias de referência, porém os Tratamentos T3, T4 e T12, estão mais próximos dos valores mínimos (SOUZA, et al., 2014).

Figura 13 – pH (H<sub>2</sub>O)

Fonte: Autora (2014).

Figura 14 – Fósforo



Fonte: Autora (2014).

#### 4.2.2 Nitrogênio (N) e Matéria Orgânica Leve (MOL)

O nitrogênio (N) é considerado elemento essencial para as plantas, pois está presente na composição das mais importantes biomoléculas, tais como ATP, NADH,

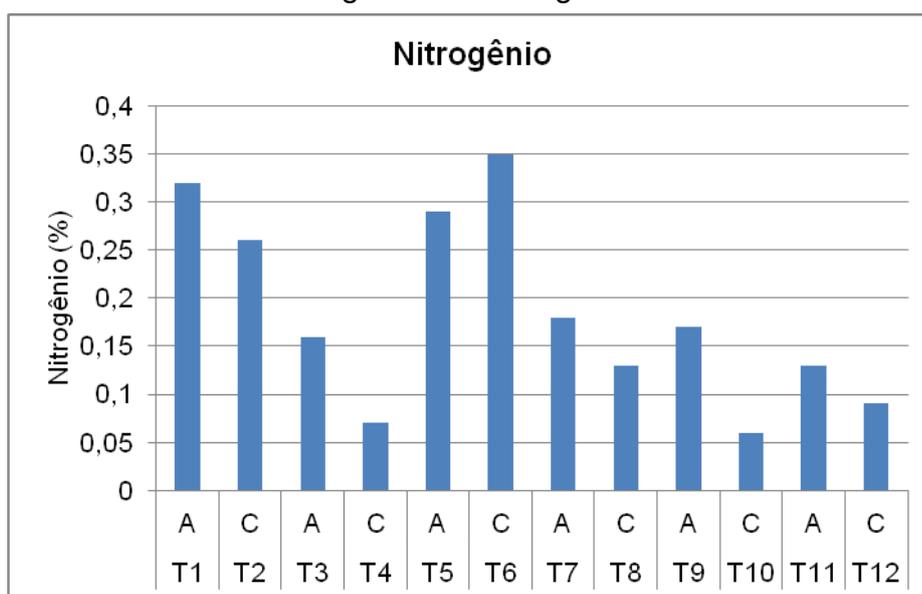
NADPH, clorofila, proteínas e inúmeras enzimas (MIFLIN e LEA, 1976; HARPER, 1994). Em muitos sistemas de produção, a disponibilidade de nitrogênio é quase sempre um fator limitante, influenciando o crescimento da planta mais do que qualquer outro nutriente.

Estudos realizados por Ferreira (2012), comprovaram que a deficiência de nitrogênio, pode causar diminuição acentuada do porte da planta, clorose generalizada, folhas tom rosado e necrose, sintomas estes, que podem impactar significativamente a produtividade agrícola.

Os valores de nitrogênio que se encontram entre 0,09 a 0,16% estão dentro do considerado adequado para diversas culturas, exceto T4 e T10, que estão abaixo dos valores de referência (MALAVOLTA, 1992).

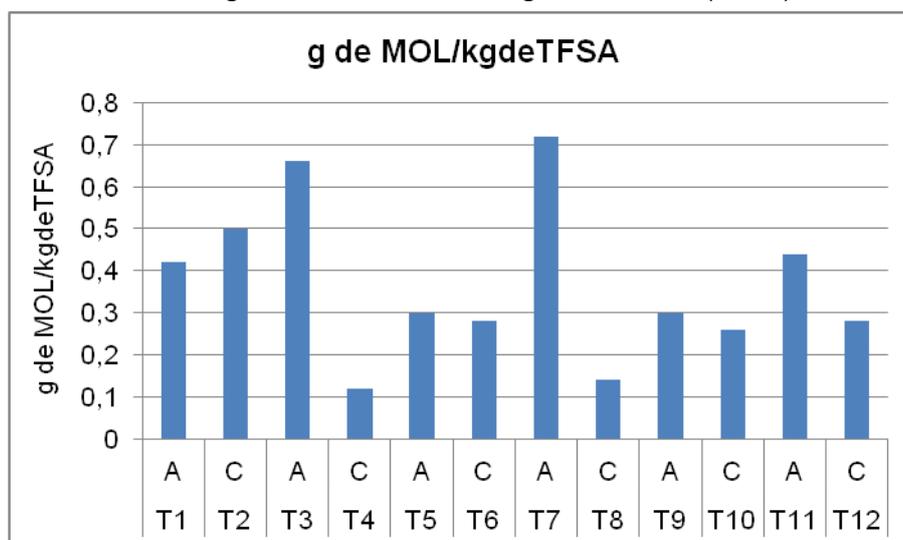
Os índices de nitrogênio encontrados em solos sob sistemas agroecológicos são em sua maioria, superiores aos solos sob sistema convencional (Figura 15), com exceção das áreas T5 e T6. Menezes e Silva (2008), em estudos realizados em solos da região agreste da Paraíba, concluíram que a aplicação anual de adubação orgânica elevou os teores de nitrogênio, fósforo e carbono orgânico na camada de 0 – 20 cm de profundidade do solo. Sendo assim é possível que exista a necessidade de maior aporte de adubação orgânica para que nas áreas T5 e T6, vislumbrando a possibilidade de aumento futuro nos teores de nitrogênio dentro da área de cultivo.

Figura 15 – Nitrogênio



Fonte: Autora (2014).

Figura 16 – Matéria Orgânica Leve (MOL)



Fonte: Autora (2014).

A Matéria Orgânica Leve (MOL) é constituída por resíduos orgânicos em vários estágios de decomposição (Janzen et al., 1992). De acordo com os dados apresentados na Figura 16, observa-se a tendência de os conteúdos de MOL nos sistemas agroecológicos superarem os obtidos nos sistemas convencionais, confirmando a eficiência do sistema em conservar maior quantidade de serapilheira na propriedade.

Certamente, a influência do manejo por meio do maior aporte de matéria orgânica favoreceu a maior quantidade de MOL nos sistemas agroecológicos, com exceção das áreas T1 e T2, onde o sistema convencional apresentou maior índice de MOL. Porém, no geral, essas concentrações foram abaixo da média encontrada na literatura, caracterizando como áreas pobres em MOL (FRAGA, 2004; SOUZA, 2006; TORRES, 2009; OLIVEIRA, 2010), que pode ser justificado ao considerar a condição destes solos serem de microrregiões que tem sua pluviosidade baixa e irregular, solos rasos e sujeitos a erosão (REINALDO, 2009).

Contudo, mesmo apresentando valores abaixo da média a utilização da adubação verde, oriunda do manejo agroecológico, contribuiu para o aumento dos teores de matéria orgânica leve, condições semelhantes à encontrada no estudo realizado por Guareschi (2013), em áreas sob adubação verde. Confirmando que a utilização de adubação verde ou mesmo a relocação de folhas do próprio sistema, redistribuída ao longo das áreas de cultivo, beneficiam na adubação do solo.

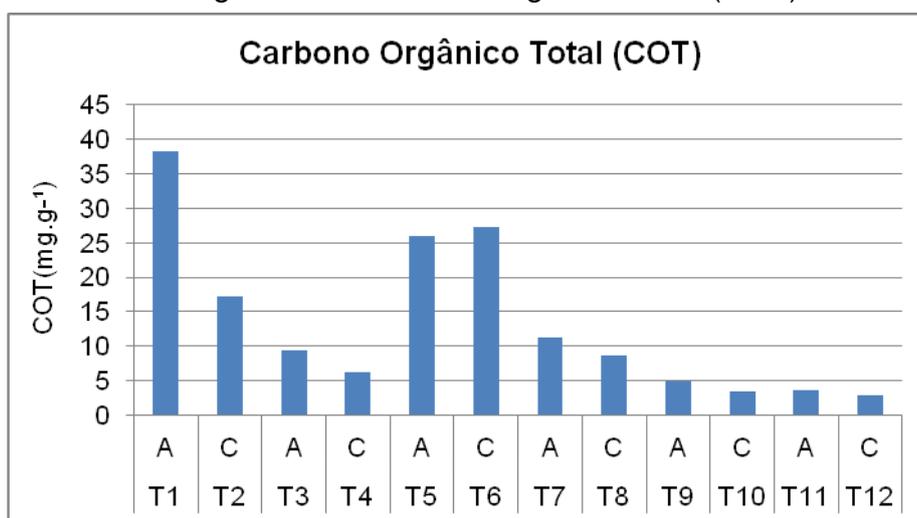
### 4.2.3 Carbono Orgânico Total (COT) e Matéria Orgânica (MO)

Os sistemas de manejo interferem na formação e manutenção do carbono orgânico total (COT) no solo. Essas diferenças podem ser observadas nos índices de COT, que apresentados na Figura 17, expressam maiores valores nos sistemas agroecológicos, com exceção das áreas T5 e T6. O índice de COT, também varia com as microrregiões estudadas, sendo possível visualizar teores maiores nas microrregiões do Brejo e Campina Grande.

Maiores teores de COT, também foram encontrados em sistemas agroecológicos, no Semiárido paraibano, fato esse atribuído ao sistema de manejo de base ecológica, que provavelmente contribuiu para a formação e a manutenção do carbono orgânico total do solo, promovida pela diversidade de cultivos e restos culturais (FERREIRA et al., 2010).

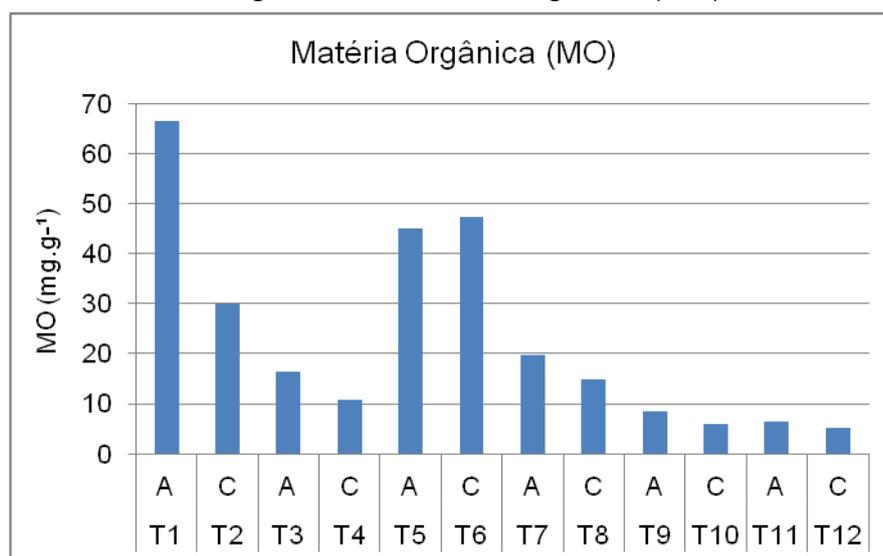
Amorim (2009), estudando serrapilheira oriunda da Caatinga, encontrou uma relação significativa entre as quantidades de MOL e as quantidades de COT, sugerindo que parte do C na MOL é incorporada à fração de C humificado, estando os dados em concordância com a literatura encontrada.

Figura 17 – Carbono Orgânico Total (COT)



Fonte: Autora (2014).

Figura 18 – Matéria Orgânica (MO)



Fonte: Autora (2014).

Os teores da Matéria Orgânica (MO) apresentam-se maiores nos sistemas agroecológicos, com exceção às áreas T5 e T6 (Figura 18), dados esses que podem está relacionado à colheita e preparo para o plantio em dias anteriores a coleta do solo na propriedade.

A disponibilidade de nitrogênio e carbono orgânico acompanham os teores MO, denotando a relação entre estes indicadores. A disponibilidade de nitrogênio está associada à presença de matéria orgânica e semelhante a outros estudos, os valores de nitrogênio acompanharam as variações da matéria orgânica (OLIVEIRA e CARVALHO (2009); SILVA et al (2013).

Os resultados encontrados para MOL e COT estão de acordo com o trabalho de Xavier et al. (2006), que avaliaram a MOL em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na chapada da Ibiapaba (CE). Estes autores encontraram maiores teores de MOL e carbono da MOL nas áreas com manejo orgânico, em contraste ao manejo convencional, atribuindo tal resultado à influência do maior aporte de matéria orgânica, sob manejo orgânico.

Loss et al. (2010), concluiu que o maior aporte de COT e N encontram sob o sistema de plantio orgânico e em consórcio, pois aparentemente propicia melhor distribuição do carbono.

### 4.3 INDICADORES BIOQUÍMICOS

#### 4.3.1 Glomalina e Fosfatase Ácida

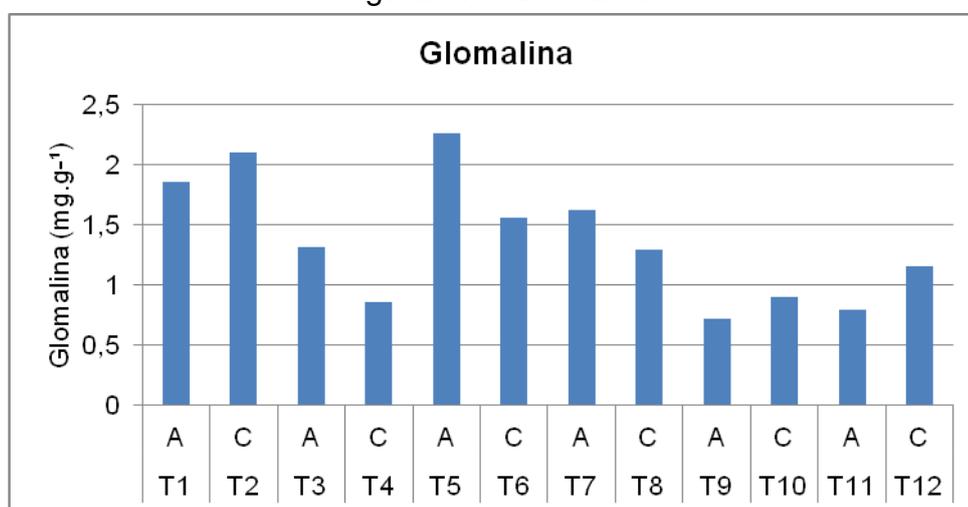
As médias da proteína do solo relacionada à glomalina - facilmente extraível (G-FE) variaram entre 0,72 e 2,26 mg.g<sup>-1</sup> de solo nos sistemas agroecológicos e 0,86 a 2,10 nos sistemas convencionais (Figura 19). Esses valores estão próximos aos encontrados por Mergulhão (2006) em área de caatinga nativa, porém inferiores aos encontrados por Pereira et al. (2012).

Segundo Mergulhão (2006), a presença de espécies arbóreas tende a estimular a ocorrência de FMAs e, conseqüentemente, aumentar a deposição de glomalina ao solo.

Nesse estudo foi observada fraca correlação entre produção de glomalina e o número de esporos sob algumas áreas de estudo, contudo, a maioria não estabeleceu correlação.

De acordo com Souza et al. (2012), a quantidade de glomalina produzida pela FMAs pode ser influenciada por diferentes fatores, como características do solo, condições climáticas, sistema de uso do solo, práticas de manejo agrícola, a presença de vegetação. Considerando estas questões, a variação de quantidades desta proteína tem a possibilidade de variar entre regiões, sendo difícil uma conclusão e necessário mais estudo referente ao tema.

Figura 19 – Glomalina

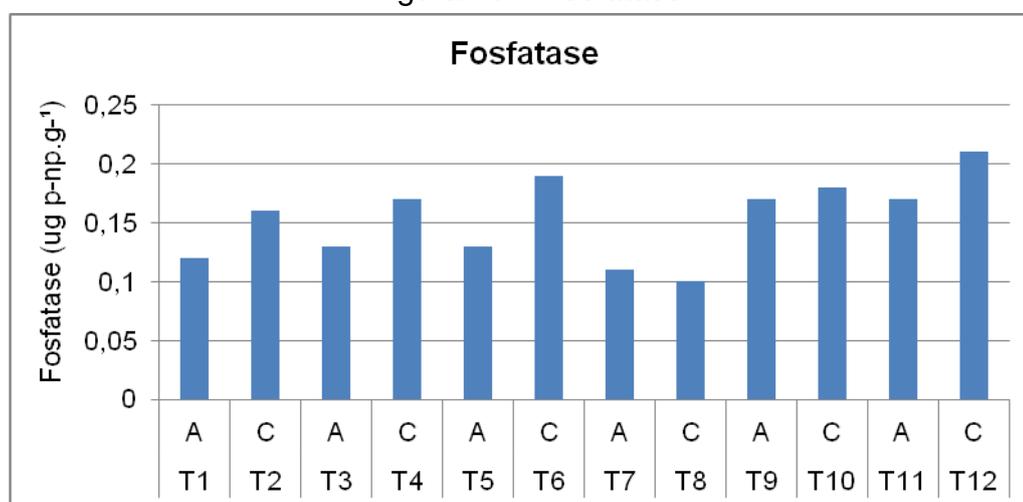


Fonte: Autora (2014).

A enzima fosfatase é importante para a transformação do fósforo orgânico em formas inorgânicas assimiláveis pelas plantas (AMADOR, 1997). Estudo em cultivos agroecológicos e convencionais, com diferentes tempos de adoção indicou que as atividades enzimáticas do solo são afetadas diferentemente pelo tempo. Por exemplo, as atividades de fosfatase ácida foram maiores nos sistemas mais antigos (6 anos), e em sua maioria nos sistemas convencionais. Esse resultado (Figura 20), contraria comprovações que demonstram maiores índices das fosfatases em áreas com maiores aportes de matéria orgânica (JAKELAITIS et al, 2008; CONTE, 2002). Contudo, considerando os valores dentro das microrregiões, a variação é relativamente pequena entre o tipo de cultivo.

Conforme destacado por Tótola e Chaer (2002), existe certa dificuldade na interpretação dos dados de indicadores biológicos, ou seja, saber quando é que os valores obtidos indicam que o solo é bom ou não, contituem um dos grandes obstáculos a serem transpostos nas avaliações da qualidade do solo.

Figura 20 – Fosfatase



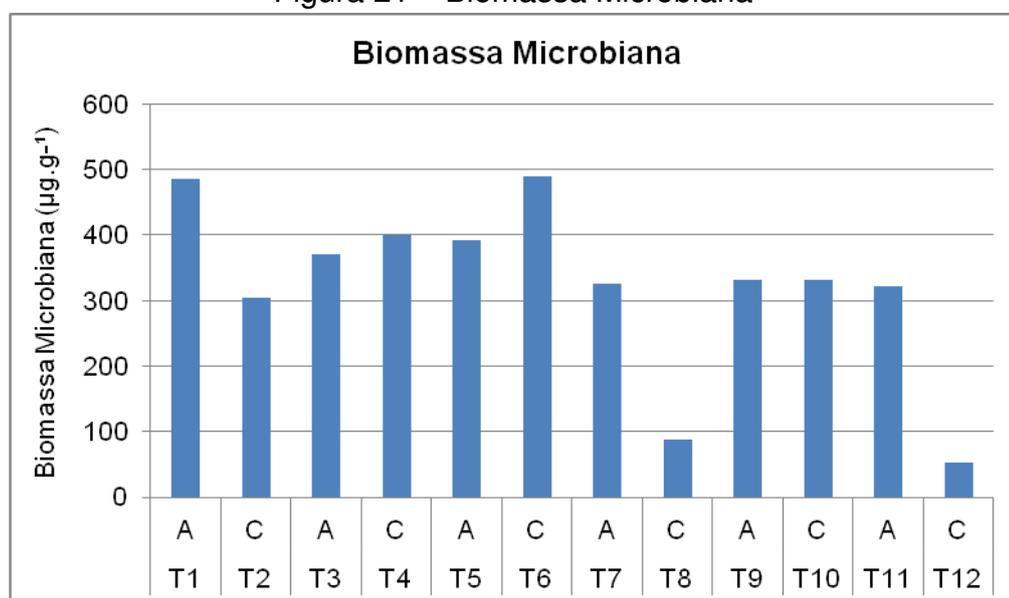
Fonte: Autora (2014).

#### 4.4 INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

##### 4.4.1 Biomassa Microbiana (BM), Coeficiente Microbiano e Fungos Micorrízicos (FMA)

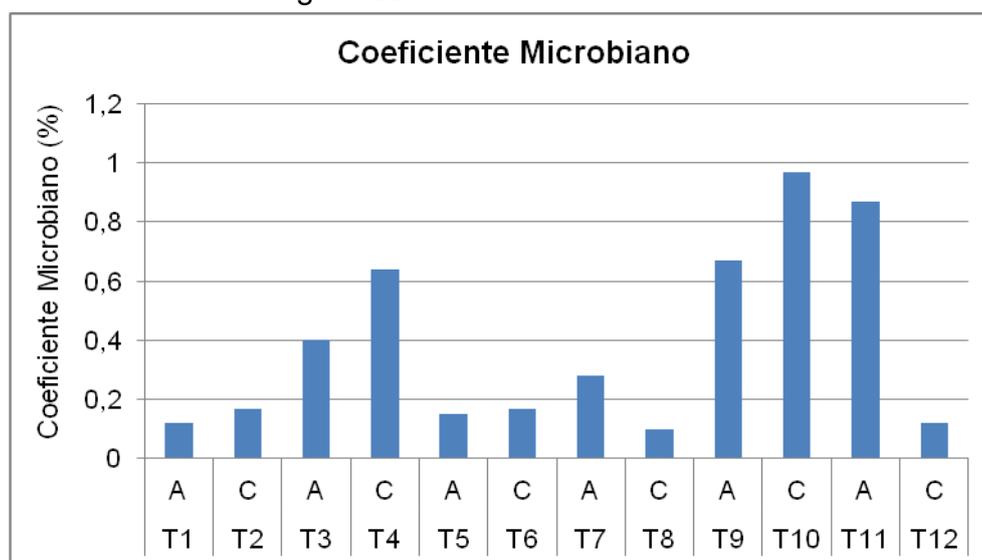
Verifica-se nos dados referentes à biomassa microbiana valores superiores deste indicador para os sistemas agroecológicos nos T1, T7, T9 e T11. Contudo, valores mais elevados também foram encontrados nos sistemas convencionais T4 e T5 (Figura 21).

Figura 21 – Biomassa Microbiana



Fonte: Autora (2014).

Figura 22 – Coeficiente Microbiano



Fonte: Autora (2014).

A relação entre a biomassa microbiana e o carbono orgânico, expressa quanto do C orgânico do solo está imobilizado na biomassa microbiana. Baixos valores da relação (BM/COT) podem ser ocasionados por circunstâncias em que a microbiota se encontra sob algum fator de estresse ou devido à baixa qualidade nutricional da matéria orgânica, fazendo com que a B. microbiana torne-se incapaz de utilizar totalmente o C orgânico (Gama-Rodrigues & Gama-Rodrigues, 2008).

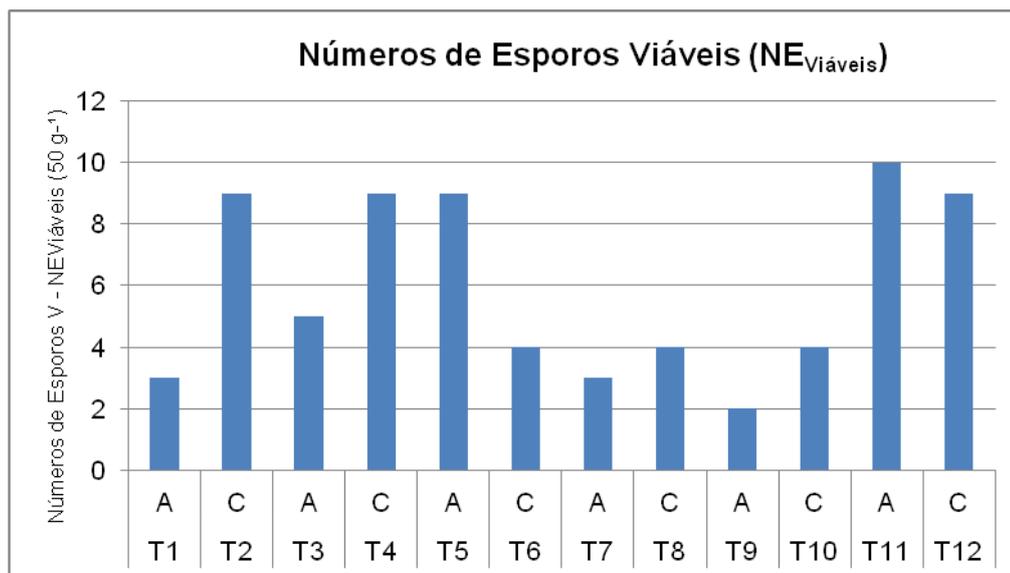
Os valores da relação BM/COT variaram pelo sistema de cultivo e microrregiões, sendo na microrregião do Curimataú oriental T10 e T11 (0,97 e 0,87% respectivamente), os valores mais altos.

Nas demais microrregiões, a relação BM/COT, foram baixas, independente do tipo de cultivo. Contudo, se considerarmos os valores dentro das microrregiões, o sistema de cultivo convencional aparece com valores menos baixos que os de sistema agroecológico (Figura 22).

Segundo Anderson e Domsch (1989), os valores da relação BM/COT que expressam condição de equilíbrio do C no solo seriam 2,3 para monocultura e 4,4 para rotação de culturas, condição essa não encontrada nas amostras avaliadas.

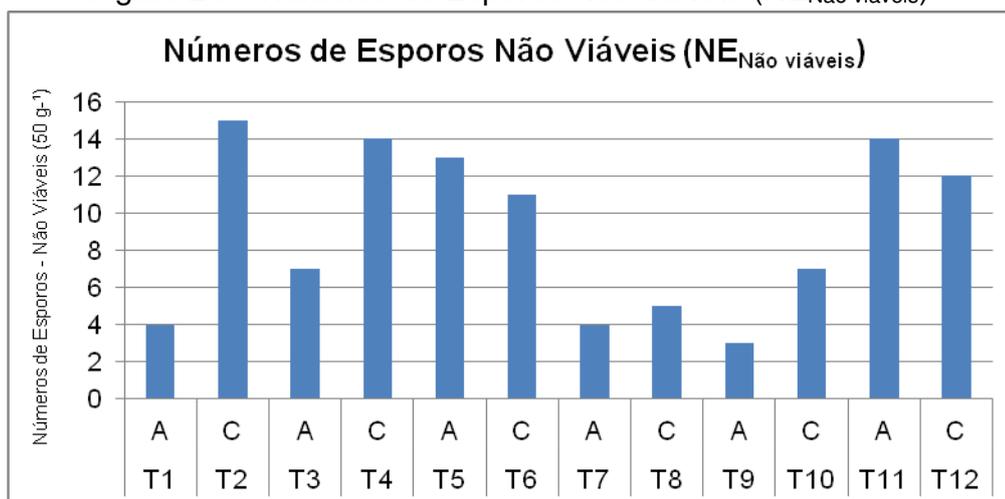
Observando-se os Números de Esporos V ( $NE_{Viáveis}$ ) e NV ( $NE_{Não\ viáveis}$ ), percebe-se que seu comportamento é semelhante aos dados referentes à B. microbiana, quando a maioria dos valores menos baixos encontra-se nos sistemas de cultivo convencional (Figura 23 e Figura 24).

Figura 23 – Números de Esporos Viáveis ( $NE_{Viáveis}$ )



Fonte: Autora (2014).

Figura 24 – Números de Esporos Não Viáveis ( $NE_{Não\ viáveis}$ )



Fonte: Autora (2014).

Os fungos micorrízicos apresentam correlação com o teor de Q. microbiano, estando em concordância com os dados acima citados, quando é perceptível o

aumento no teor de Q. microbiano, quando ocorre também o aumento de esporos (FMA).

Os teores de Q. microbiano estão relacionados ao fato de que, os próprios FMAs contribuem significativamente para a biomassa microbiana, sendo frequentemente, a fração predominante (30%) da biomassa microbiana no solo (Rillig & Mummey, 2006).

Soares et al. (2012), cita os FMAs, como fator influente no desenvolvimento das plantas, absorção de alguns nutrientes e aumento da biomassa verde.

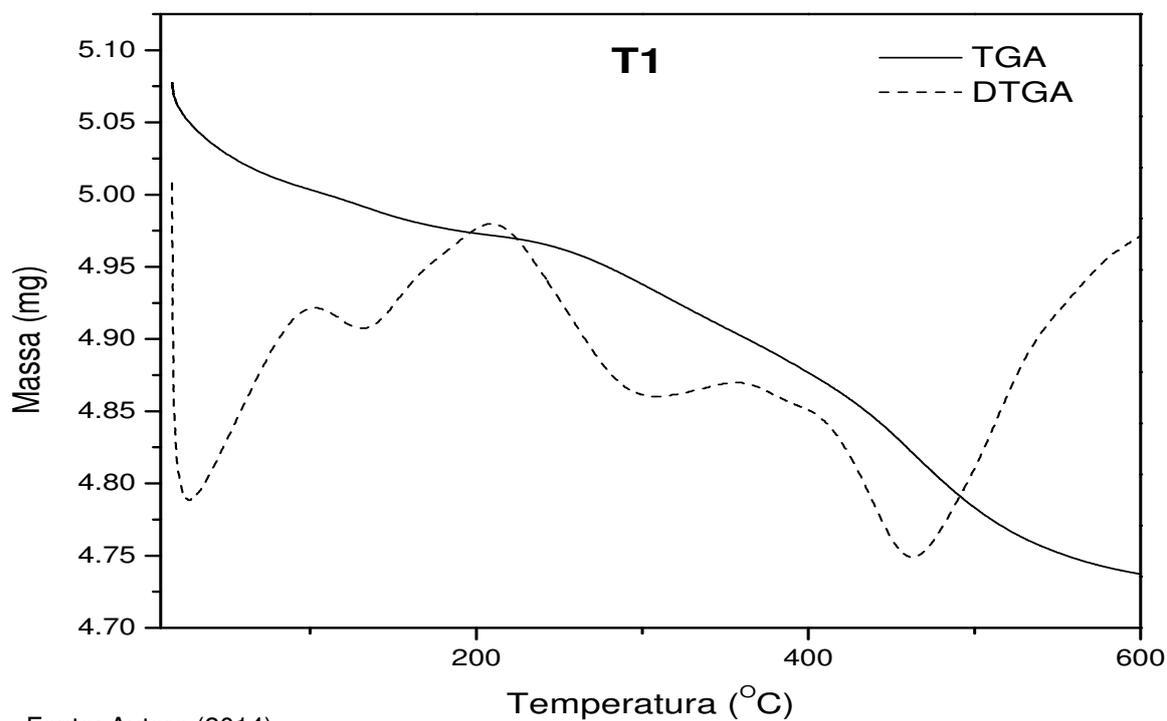
Segundo Vilela (2012), relata que os FMAs promoveram aumento nos teores de carbono da biomassa microbiana, na atividade de fosfatase ácida, glomalina total e facilmente extraível, bem como influenciador positivo na melhoria da estrutura do solo relacionado ao índice de estabilidade de agregados do solo.

## 4.5 CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA

### 4.5.1 Termogravimetria (TGA) e Termogravimetria Derivada (DTGA)

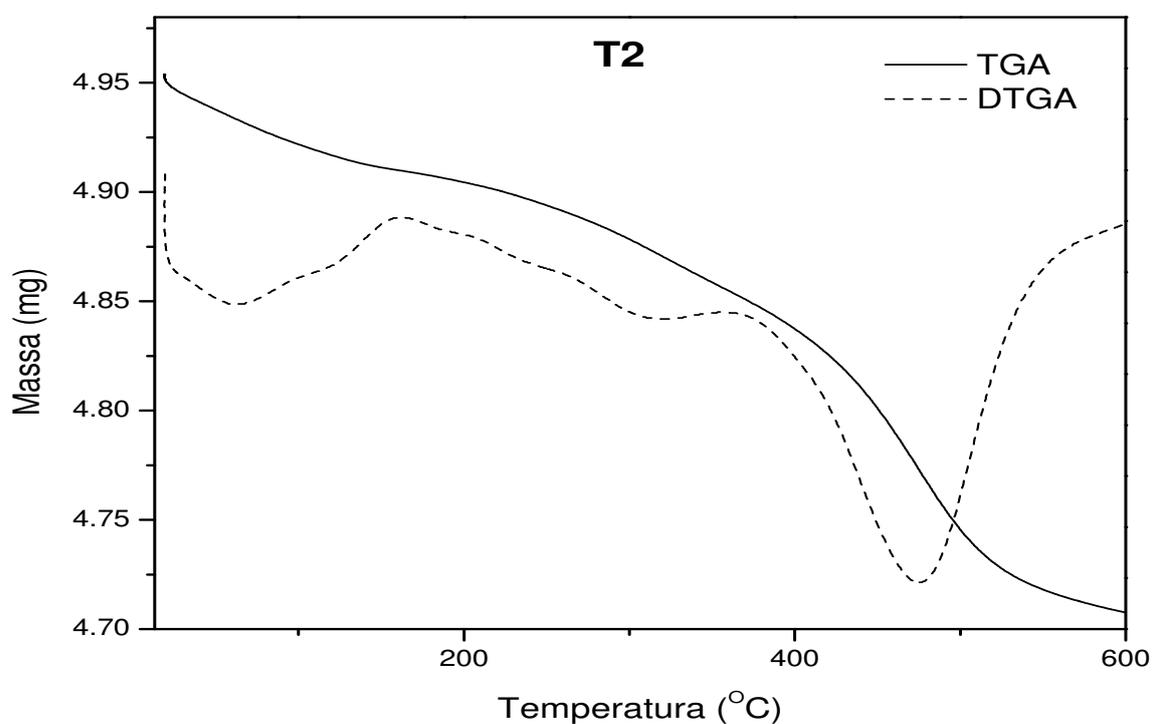
As Figuras de 25 a 36 apresentam as curvas TGA e DTGA (derivada da curva termogravimétrica) para todas as amostras de solos estudados (T1 a T12). Como pode ser observado nas curvas TGA de todas as amostras, a decomposição térmica ocorre geralmente em 3 fases principais. No geral, a primeira ocorre entre a temperatura de 12°C e 221°C e corresponde à evaporação da água superficial ou absorvida nos solos estudados. A segunda e a terceira fase não são tão evidentes, mas podem ser observadas nos intervalos de temperatura 159-399°C e 399-622°C, sendo esta última à fase onde ocorre maior perda de massa.

Figura 25 – Curvas TGA/DTGA da amostra T1, obtida a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  em atmosfera de nitrogênio (fluxo de  $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ )



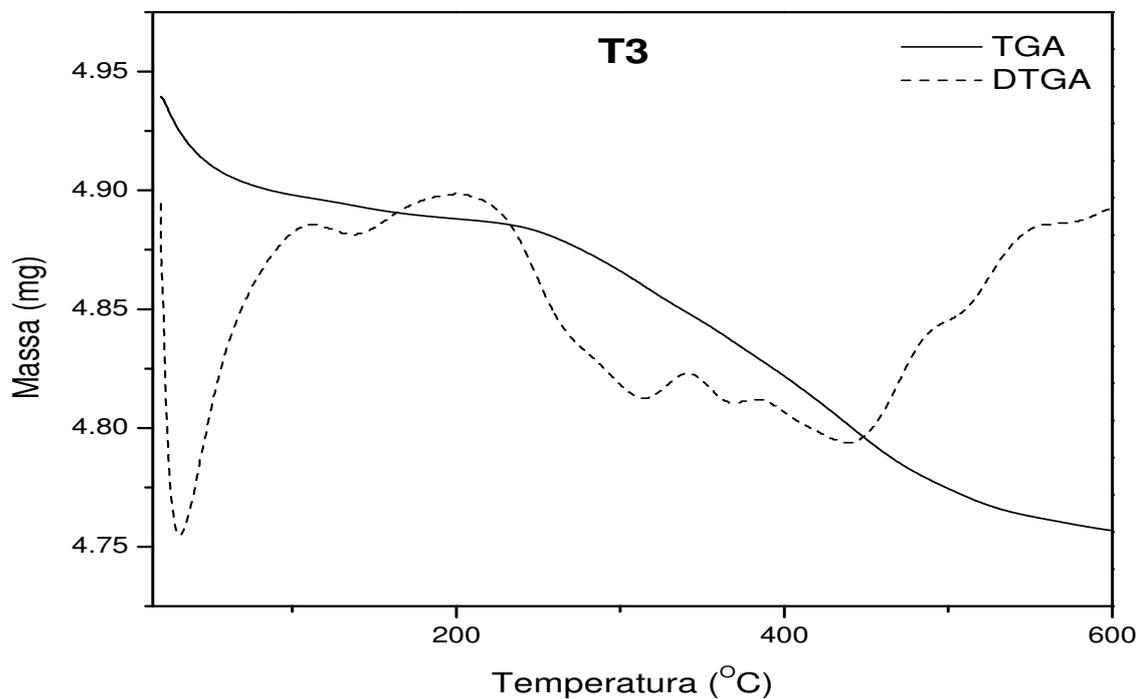
Fonte: Autora (2014).

Figura 26 – Curvas TGA/DTGA da amostra T2, obtida a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  em atmosfera de nitrogênio (fluxo de  $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ )



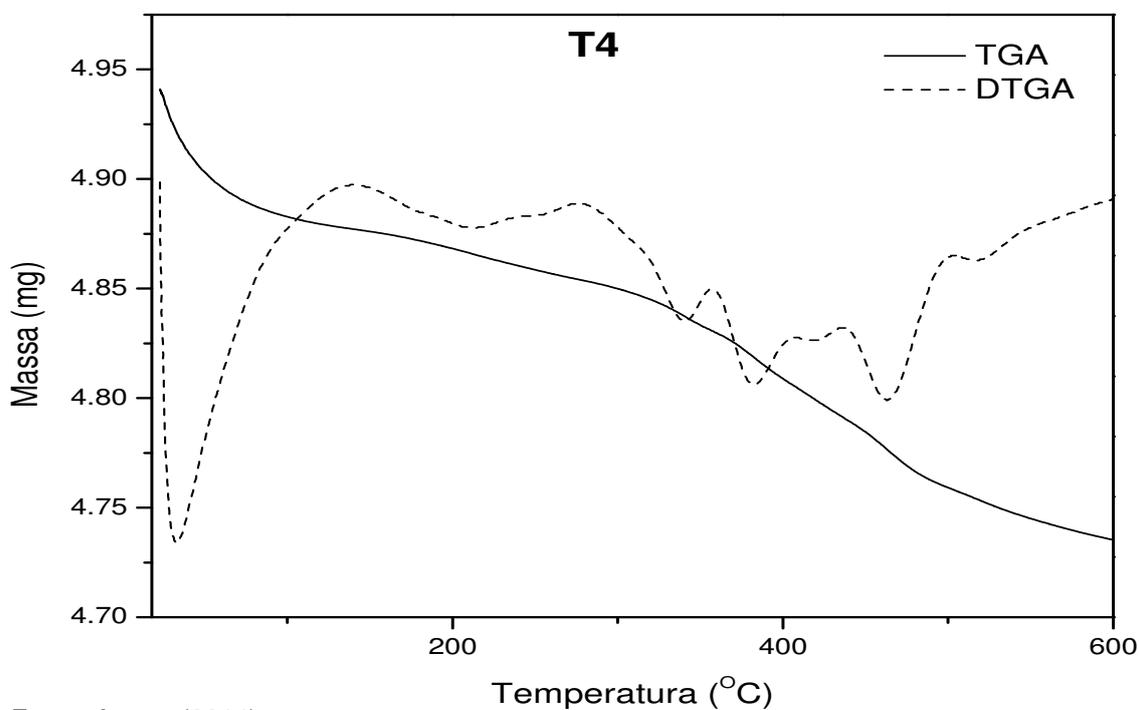
Fonte: Autora (2014).

Figura 27 – Curvas TGA/DTGA da amostra T3, obtida a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  em atmosfera de nitrogênio (fluxo de  $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ )



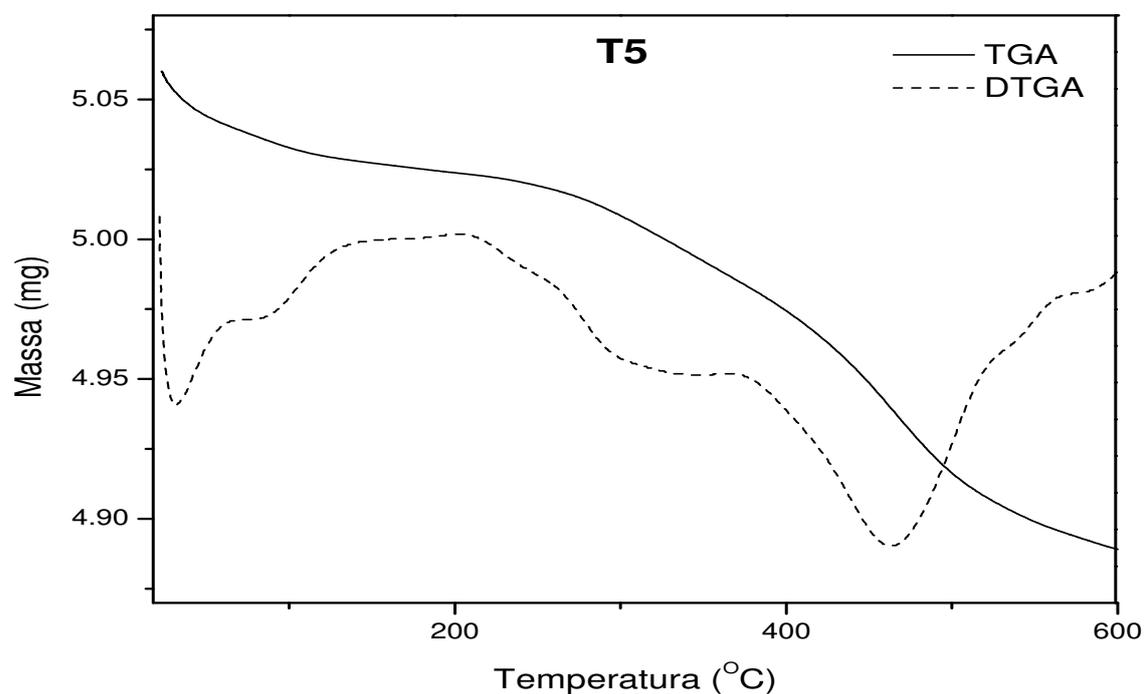
Fonte: Autora (2014).

Figura 28 – Curvas TGA/DTGA da amostra T4, obtida a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  em atmosfera de nitrogênio (fluxo de  $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ )



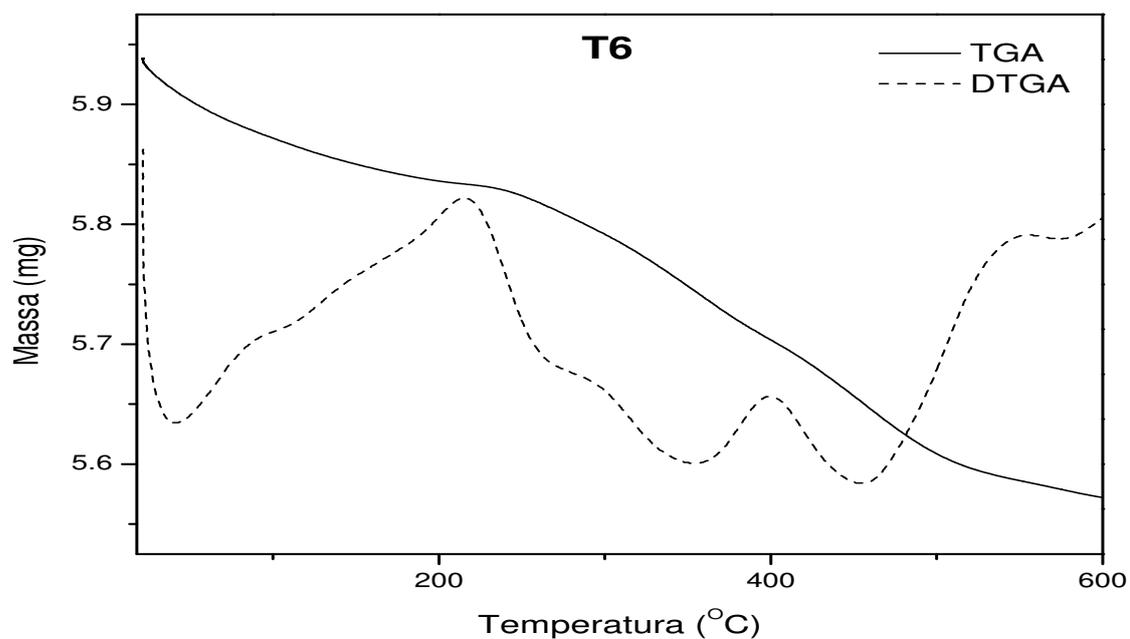
Fonte: Autora (2014).

Figura 29 – Curvas TGA/DTGA da amostra T5, obtida a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  em atmosfera de nitrogênio (fluxo de  $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ )



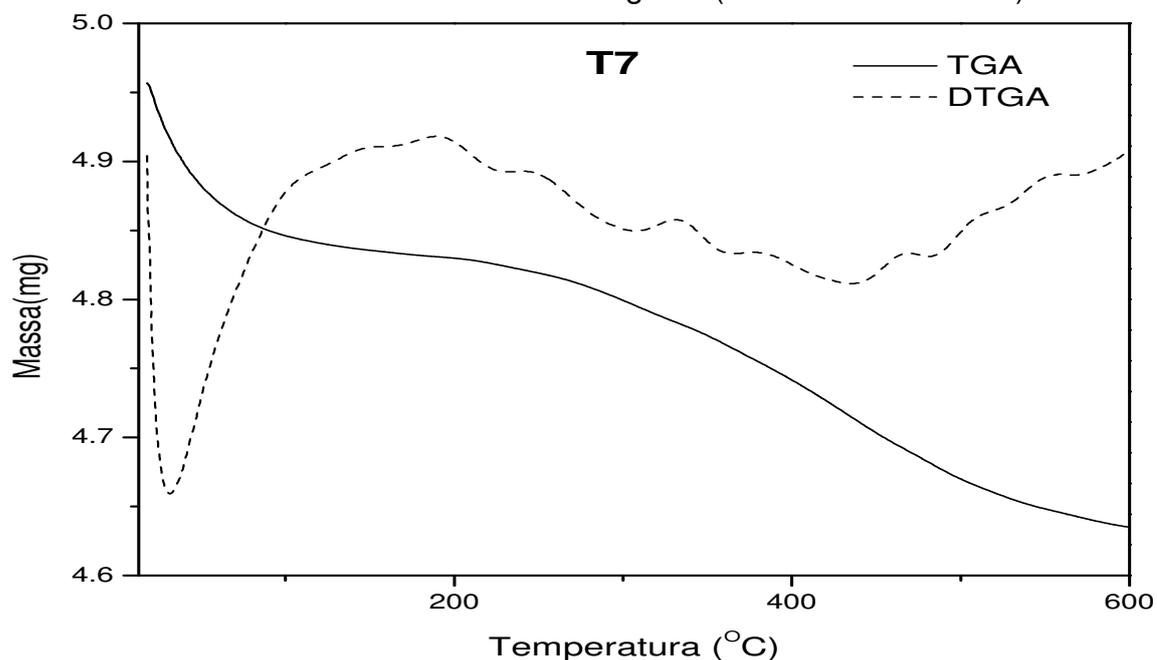
Fonte: Autora (2014).

Figura 30 – Curvas TGA/DTGA da amostra T6, obtida a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  em atmosfera de nitrogênio (fluxo de  $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ )



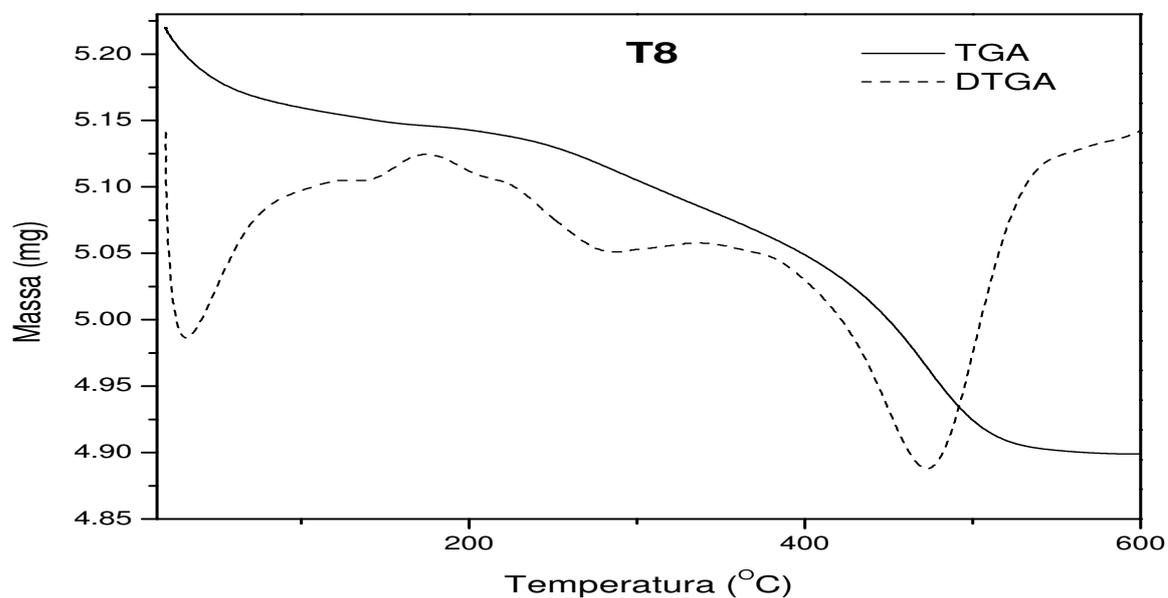
Fonte: Autora (2014).

Figura 31 – Curvas TGA/DTGA da amostra T7, obtida a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  em atmosfera de nitrogênio (fluxo de  $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ )



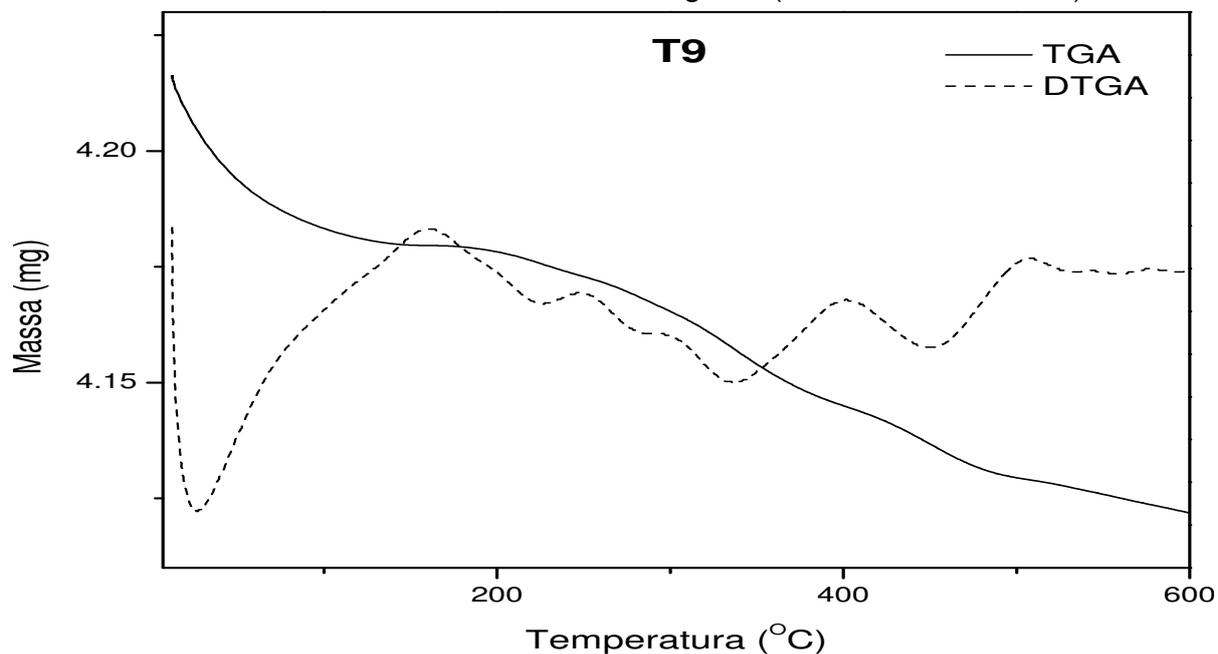
Fonte: Autora (2014).

Figura 32 – Curvas TGA/DTGA da amostra T8, obtida a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  em atmosfera de nitrogênio (fluxo de  $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ )



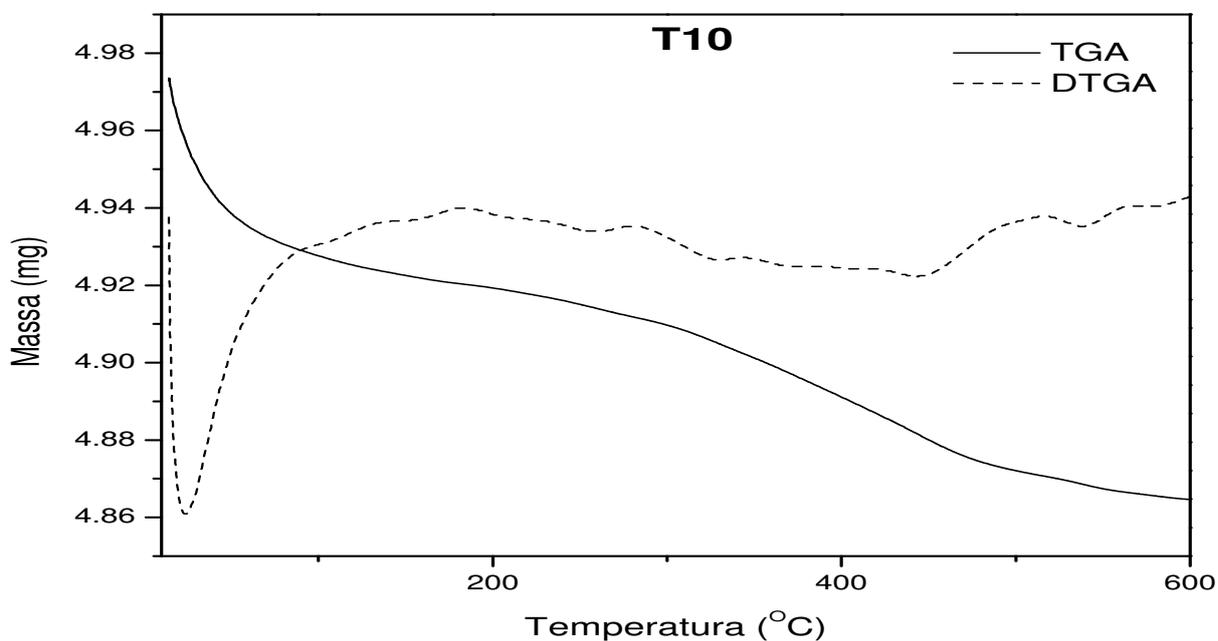
Fonte: Autora (2014).

Figura 33 – Curvas TGA/DTGA da amostra T9, obtida a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  em atmosfera de nitrogênio (fluxo de  $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ )



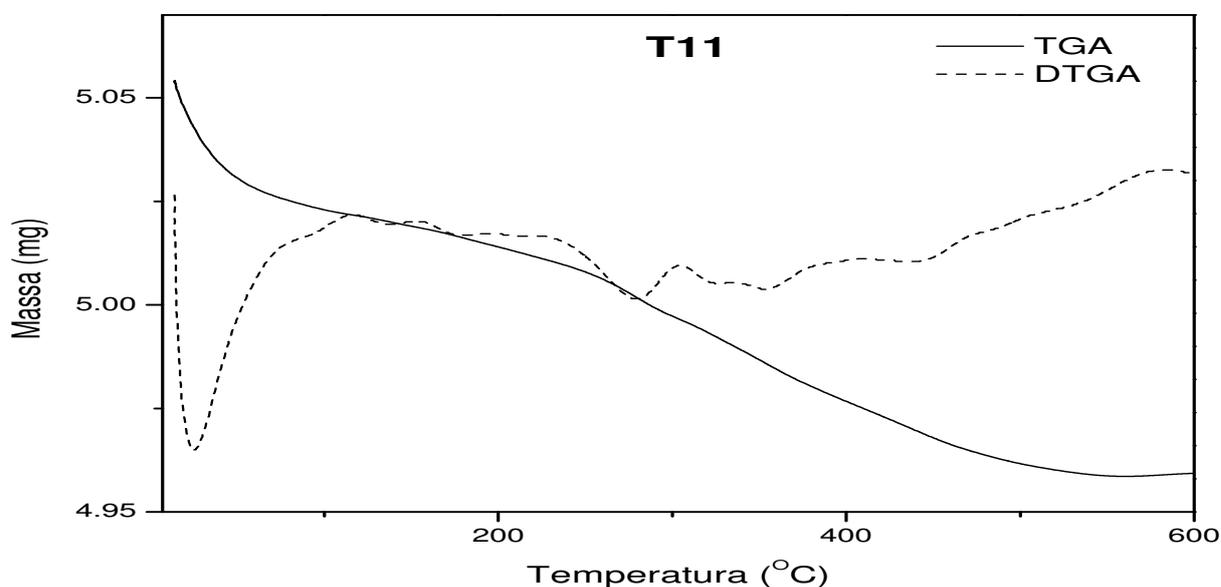
Fonte: Autora (2014).

Figura 34 – Curvas TGA/DTGA da amostra T10, obtida a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  em atmosfera de nitrogênio (fluxo de  $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ )



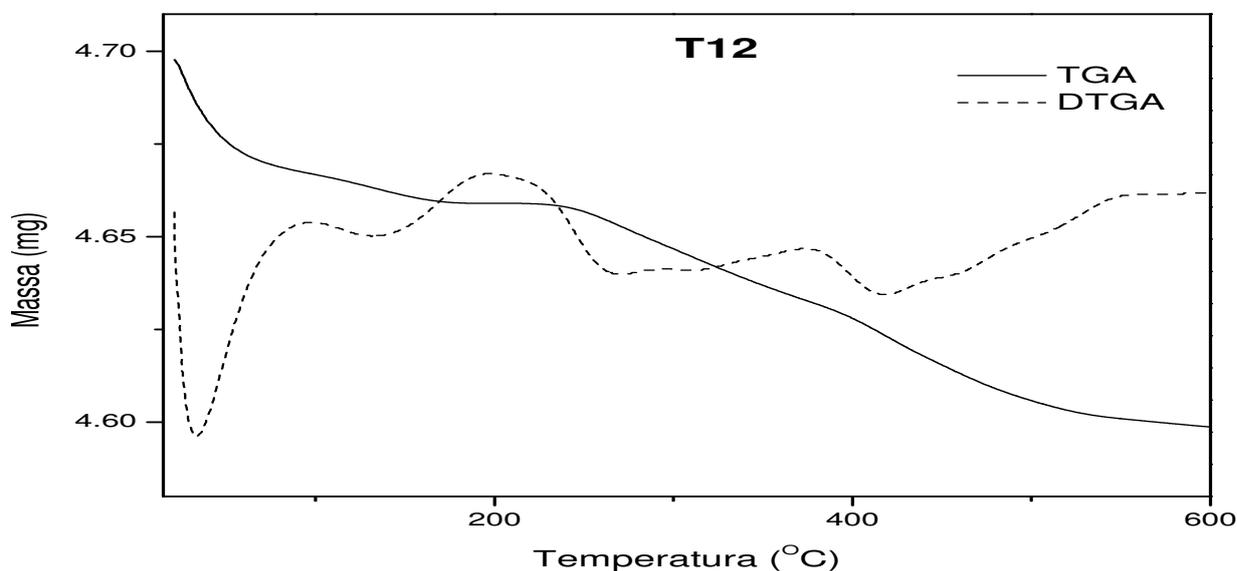
Fonte: Autora (2014).

Figura 35 – Curvas TGA/DTGA da amostra T11, obtida a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  em atmosfera de nitrogênio (fluxo de  $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ )



Fonte: Autora (2014).

Figura 36 – Curvas TGA/DTGA da amostra T12, obtida a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  em atmosfera de nitrogênio (fluxo de  $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ )



Fonte: Autora (2014).

Resumidamente, o Quadro 9 mostra os resultados da decomposição termogravimétrica das amostras de solos estudados (T1 a T12) à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  em atmosfera de  $\text{N}_2$ .

Quadro 9 – Resultados da decomposição termogravimétrica das amostras de solos estudados à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  em atmosfera de  $\text{N}_2$

AMOSTRAS	EVENTOS	TEMPERATURA INICIAL	TEMPERATURA FINAL	PERDA DE MASSA (%)
T1	I	16.83	100.83	1.456
	II	100.83	213.06	0.630
	III	213.06	368.06	1.456
	IV	367.50	621.11	3.207
T2	I	19.29	177.56	0.929
	II	176.99	357.21	1.050
	III	357.21	622.49	3.068
T3	I	19.83	105.88	0.850
	II	105.88	209.48	0.202
	III	209.48	342.15	0.789
	IV	342.15	555.97	1.739
T4	I	22.84	129.90	1.273
	II	129.90	276.77	0.485
	III	276.77	358.94	0.485
	IV	358.94	423.36	0.667
	V	423.36	515.54	0.869
T5	I	23.22	200.56	0.726
	II	200.56	370.00	0.786
	III	370.56	569.17	1.814
T6	I	21.37	221.71	1.761
	II	221.71	396.50	2.131
	III	397.74	552.86	2.013
T7	I	18.06	190.97	2.537
	II	191.55	253.32	0.262
	III	253.32	335.59	0.745
	IV	336.16	600.00	2.939
T8	I	19.08	170.56	1.414
	II	170.00	363.06	1.414
	III	363.06	586.67	3.307
T9	I	12.24	158.97	0.852
	II	159.55	248.81	0.166
	III	248.23	303.94	0.189
	IV	303.94	399.90	0.473
	V	399.90	504.62	0.379
	VI	504.62	622.17	0.189
T10	I	14.24	129.30	1.004
	II	129.30	285.04	0.261
	III	285.04	508.48	0.804
T11	I	13.83	116.47	0.633
	II	116.47	154.56	0.059
	III	154.56	204.86	0.119
	IV	204.86	306.33	0.336
	V	306.33	397.05	0.376
	VI	397.05	580.23	0.356
T12	I	22.10	103.35	0.658
	II	103.92	200.95	0.149
	III	200.95	374.64	0.552
	IV	374.64	601.15	0.722

Fonte: Autora (2014).

Os solos avaliados de T1, T3, T7 e T12 apresentaram quatro etapas de decomposição térmica. A primeira perda de massa na amostra T12 ocorreu na faixa compreendida entre 22 a 103°C, e refere-se a evaporação de água superficial. Também se observa nessas amostras a ocorrência de perda de massa num intervalo compreendido entre 200 a 374°C.

Segundo Crespo (2011), perdas de massas observadas em substâncias contendo matéria orgânica, ocorrem entre 200 e 400°C, e associa-se essa degradação à perda de grupos funcionais polares e à combustão de estruturas alifáticas derivadas da decomposição de plantas e animais.

Observa-se nas curvas DTGA das amostras T4, T9 e T11 maior quantidade de degradação térmica. Apesar disso, estas degradações são também referentes à perda de água que estava absorvida no solo, decomposição de matéria orgânica e à perda de água de constituição de hidróxidos metálicos, tendo como produtos finais os óxidos.

Nas amostras T2, T5, T6, T8 e T10 observam-se perda de massa em três etapas. Na etapa 1, a perda é referente a saída de moléculas de água presente nos solos. Na segunda etapa, pode-se atribuir a perda de massa relativo à decomposição de microrganismos e na terceira etapa devida à oxidação de matéria orgânica.

De acordo com Segnini et al., (2008), a decomposição de carbono da MeO ocorre numa faixa de temperatura entre 250 a 360°C. Dentre essas amostras, T8 apresentou a terceira perda de massa superior às demais, podendo ser referente à perda de água de constituição de hidróxidos metálicos ( $\text{Me-OH} \rightarrow \text{MeO} + \text{H}_2\text{O}$ , onde Me = metais como Al, Fe e outros).

A última etapa de decomposição observada nas amostras T1, T3, T7 e T12 correspondem àquela que apresenta a maior perda de massa. Nesta etapa, pode-se inferir perda de água de constituição de hidróxidos metálicos ( $\text{Me-OH} \rightarrow \text{MeO} + \text{H}_2\text{O}$ , onde Me= metais como Al, Fe e outros) (SEGNINI ET AL., 2008).

Apesar de poucas pesquisas relacionadas à utilização de termogravimetria na avaliação de matéria orgânica de solos agrícolas, aparentemente existe a correlação da matéria orgânica identificada no processo termogravimétrico e o teor de matéria orgânica identificada nos indicadores químicos.

Os dados termogravimétricos estão coerentes aos indicadores químicos da matéria orgânica, confirmando a metodologia termogravimétrica aplicável como auxílio na leitura de qualidade dos solos agrícolas.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSÕES**

---

## 5 CONCLUSÕES

- Os resultados referentes à física do solo, determinaram que os solos da microrregião do Curimataú Oriental, apresentam-se com maior concentração de areia e portanto, alta taxa de drenagem;
- Dentro dos indicadores químicos, pH e fósforo, houve similaridades nos dados, independentemente do tipo de cultivo;
- Nitrogênio, Matéria orgânica leve, Carbono orgânico total e Matéria orgânica apresentaram coerência e correlação nos resultados, indicando serem atributos com possibilidade de utilização como indicadores de solos em transição agroecológica;
- Os indicadores bioquímicos mostraram pouca correlação e coerência nos resultados, sendo necessárias mais pesquisas para identificar quais parâmetros podem ser utilizados na avaliação dos solos utilizando estes indicadores;
- Dados de FMAs, Biomassa microbiana e Coeficiente microbiano, apresentaram correlação. Na mesorregião estudada, os teores destes indicadores são maiores no sistema convencional;
- A técnica termogravimétrica é uma metodologia que revelou-se ser eficiente na compreensão dos dados relacionados ao teor de matéria orgânica de solos agrícolas, principalmente quando relacionada com outros indicadores do solo, contribuindo no entendimento do estudo da matéria orgânica no solo.

## 5.1 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

- Realizar mais pesquisas relacionadas aos indicadores bioquímicos do solo, para contribuir no melhor entendimento dos resultados relacionados a estes indicadores para região Nordeste;
- Realizar mais pesquisas sobre indicadores da qualidade do solo dentro das microrregiões estudadas;
- Utilizar também indicadores socioeconômicos para obter resultados mais abrangentes sobre os efeitos dos sistemas convencionais e agroecológicos para a agricultura familiar;
- Utilizar a termogravimetria em benefício das pesquisas sobre a caracterização de solos agrícolas, principalmente na determinação da matéria orgânica do solo, pois mostrou-se como metodologia rápida e eficiente, neste quesito, auxiliando de sobremaneira no entendimento quanto à matéria orgânica e matéria orgânica leve, tendo o benefício de não utilizar reagentes e muito pouca matéria-prima (solo).

## **REFERÊNCIAS**

---

## REFERÊNCIAS

ALTIERI, M. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 5ª ed. Editora UFRGS – Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Rural – UFRGS. Porto Alegre. p. 37; 41; 42; 43; 44; 95; 110 – 2009.

ALTIERI, M. Agroecologia: A dinâmica produtiva da agricultura sustentável. 5ª ed. Editora UFRGS – Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Rural – UFRGS. Porto Alegre – 2009 – p. 37.

ALTIERI, M. Agroecologia: A dinâmica produtiva da agricultura sustentável. 5ª ed. Editora UFRGS – Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Rural – UFRGS. Porto Alegre – 2009 – p. 41 e 42.

ALTIERI, M. Agroecologia: A dinâmica produtiva da agricultura sustentável. 5ª ed. Editora UFRGS – Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Rural – UFRGS. Porto Alegre – 2009 – p. 43 e 44.

ALTIERI, M. Agroecologia: A dinâmica produtiva da agricultura sustentável. 5ª ed. Editora UFRGS – Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Rural – UFRGS. Porto Alegre – 2009 – p. 110.

ALTIERI, M. **Agroecologia: as bases científicas da agricultura alternativa**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA- FASE, p. 240. 2009.

ALTIERI, Miguel A. Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1998. 95 p.

AMADOR, J.A.; GLUCKSMAN, A.M.; LYONS, J.B.; GORRES, J.H. 1997. Spatial distribution of soil phosphatase activity within a riparian forest. *Soil Science*, 162: 808-825.

AMORIM, L.B. de. Caracterização da serrapilheira em caatinga preservada e mudanças Curso Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife. p. 48. 2009.

ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic in arable soils. *Soil Biol. Biochem.*, 21:474-479, 1989.

ANDRADE, T.M. de.; SILVA, V.F.; MACHADO FILHO, H.M.; PEIXOTO, P.N.; SILVA, J.M. **Produção agroecológica como alternativa de desenvolvimento sustentável: o caso de engenho velho** - João Pessoa – PB. II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica – João Pessoa – PB – 2007. CD-ROM.

AON, M. A. et al. Spatio-temporal patterns of soil microbial and enzymatic activities in an agricultural soil. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v. 18, n. 3, p. 239-254, nov. 2011.

BRADY, C.N.; WEIL, R.R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3ª Ed. 2013. Porto Alegre – Bookman, 2013. p. 111. Cap.4. Arquitetura e Propriedades Físicas do solo.

BRADY, C.N.; WEIL, R.R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3ª Ed. 2013. Porto Alegre – Bookman, 2013. p. 18. Cap.1. Arquitetura e Propriedades Físicas do solo.

BRADY, C.N.; WEIL, R.R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3ª Ed. 2013. Porto Alegre – Bookman, 2013. p. 463. Cap.12. Ciclagem de Nutrientes e Fertilidade do solo.

BRADY, C.N.; WEIL, R.R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3ª Ed. 2013. Porto Alegre – Bookman, 2013. p. 437-438. Cap.12. Ciclagem de Nutrientes e Fertilidade do solo.

BRADY, C.N.; WEIL, R.R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3ª Ed. 2013. Porto Alegre – Bookman, 2013. p. 378. Cap.10. Organismo e Ecologia do solo.

BRADY, C.N.; WEIL, R.R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3ª Ed. 2013. Porto Alegre – Bookman, 2013. p. 398. Cap.11. Matéria Orgânica do solo.

BRADY, C.N.; WEIL, R.R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3ª Ed. 2013. Porto Alegre – Bookman, 2013. p. 111. Cap.4. Arquitetura e Propriedades Físicas do solo.

BRADY, C.N.; WEIL, R.R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3ª Ed. 2013. Porto Alegre – Bookman, 2013. p. 18. Cap.1. Arquitetura e Propriedades Físicas do solo.

BRADY, C.N.; WEIL, R.R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3ª Ed. 2013. Porto Alegre – Bookman, 2013. p. 463. Cap.12. Ciclagem de Nutrientes e Fertilidade do solo.

BRADY, C.N.; WEIL, R.R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3ª Ed. 2013. Porto Alegre – Bookman, 2013. p. 437-438. Cap.12. Ciclagem de Nutrientes e Fertilidade do solo.

BRADY, C.N.; WEIL, R.R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3ª Ed. 2013. Porto Alegre – Bookman, 2013. p. 378. Cap.10. Organismo e Ecologia do solo.

CAMPOS, M.C.C.; QUEIROZ, S.B. de. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba. Revista de biologia e ciências da terra. V. 6. Nº. 1 – 1º semestre 2006.

COMPTON, J.E.; BOONE, R.D. . **Soil nitrogen transformations and the role of light fraction organic matter in forest soils**. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 33, n. 1, p. 105-112, jan./fev., 2009 Soil Biol. Biochem., 34:933-943, 2002.

CONAB: <http://www.conab.gov.br>. Acesso: 16 de abril de 2013.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 26:925-930, 2002.

COSTA, F. de S.; GOMES, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Métodos para avaliação das emissões de gases de efeito estufa no sistema solo-atmosfera. *Ciência Rural*. 36:693-700, 2006.

COSTABEBER, J.A. Transição agroecológica: rumo à sustentabilidade. *Agriculturas: experiências em agroecologia*, v.3, n.3, Out. 2006.

CRESPO, M.P. Impacto do fogo na matéria orgânica do solo – Caracterização estrutural. Universidade de Aveiro – Departamento de Química. Dissertação – 2011. Portugal.

CUNHA, E. de Q.; STONE, L.F.; FERREIRA, E.P. de B.; DIDONE, A.D.; MOREIRA, J.A.; LEANDRO, W.M. Sistemas de Preparo do Solo e Culturas de Cobertura na Produção Orgânica de Feijão e Milho. II - Atributos Biológicos do Solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:603-611, 2011.

CUNHA, P.P. da.; CORRECHEL, V.; LEANDRO, W.M.; GRIGOLETO, L. CUNHA, A.H.N.; GOBO, J.C.C. Correlação entre Indicadores de Sustentabilidade do Algodoeiro em Sistema de Plantio Direto em Montividiu, GO. Congresso Brasileiro de Algodão. 29 de agosto a 01 de setembro de 2005.

D'ANDRÉA, A.F. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do Estado de Goiás. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 26, p. 913-923, 2002.

DEXTER, A.R. **Soil physical quality Part I**. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, Amsterdm, v.120, p. 201-214, 2004.

DICK, R.P.; BREACKWELL, D.P.; TURCO, R.F. **Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators**. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison, SSSA, 1996. p. 247-271. (SSSA Special Publication, 49)271. (SSSA Special Publication, 49). 1996.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.B.; CLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. (Ed.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Soil Society of America, Special Publication, n. 5, p. 3-21, 1994.

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A. **Soil health and sustainability**. *Advances in Agronomy*, 56: 2-54. 1996.

IPA, EMBRAPA UFRPE, UFPE, Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação. Recife – PE. 2008.

EMBRAPA, Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - 2ª edição - Brasília, DF. 2006.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos e análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro. (EmbrapaCNPS. Documento, 1997).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos e análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro. 212p. (EmbrapaCNPS. Documento,1)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA.. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos e análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro. 212p. (Embrapa- CNPS. Documento,1) 1997.

FARIA, G.E. de; BARROS, N.F. de; NOVAIS, R.F. de; SILVA, I.R. da; LIMA, J.C.N. Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica do solo em diferentes distâncias do tronco de eucalipto. *Sci. For.*, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 265-277, dez. 2008.

FERREIRA, M.M.M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 6, n. 1, p. 74-83, janeiro-abril, 2012.

FERREIRA, G.B.; SILVA, M.S.L. da.; COSTA, M.B.B. da.; MOREIRA, M.M.; GAVA, C.A.T.; MENDONÇA, C.E.S.; CHAVES, V.C. Carbono orgânico total em solos sob influência de barragens subterrâneas no semiárido da Paraíba, Brasil. XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. XIII Reunião Brasileira sobre Micorrizas. XI Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo. VIII Reunião Brasileira de Biologia do Solo. Guarapari – ES, Brasil, 13 a 17 de setembro de 2010. Centro de Convenções do SESC.

FRAGA, V. da SILVA. Mudanças na matéria orgânica (C, N e P) de solos sob agricultura da subsistência. 2002. 92f. Tese (Doutorado em tecnologias energéticas e nucleares) – DEN – UFPE. Recife. p. 43.

FRAGA, V. S.; SALCEDO, I. H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 68, n. 1, p. 215-224, 2004.

GAMA-RODRIGUES, E. F. ; GAMA-RODRIGUES, A.C. da; PAULINO, G.M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1521-1530, 2008.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMARODRIGUES, A.C. & SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:893-901, 2005.

GERDEMANN, J.W. ; NICOLSON, T.H. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Translation British Mycology Society*,46:235-244.

GLIESSMAN, S. R. 2001. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. 2 ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS. 653 p. 2001.

GOMES, M. A. F. & FILIZOLA, H. F. Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola. Jaguariúna - 2006. EMBRAPA MEIO AMBIENTE –

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. *Informações Agronômicas*, n. 95, Piracicaba, Instituto Potafós, 2001.

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob sistemas de aleias. *Pesq. flor. bras.*, Colombo, v. 33, n. 74, p. 109-114, abr./jun. 2013.

HARPER, J.E. Nitrogen metabolism. In: BOOTE, K.J., BENNETT, J.M., SINCLAIR, T.R., et al. *Physiology and determination of crop yield*. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1994. Chapt.11A. p.285-302.

IBGE. <http://mpabrasiles.files.wordpress.com/2010/02/cartilha-ibge-agricultura-familiar-71.jpg>. (2006). Acesso: maio -2014.

<http://www.cidade-brasil.com.br>. Acesso: Agosto – 2014.

IBGE. Manuais Técnicos em Geociências nº4. Manual Técnico de Pedologia. 2ª Ed. IBGE – Rio de Janeiro – 2007.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A. da.; SANTOS, J.B. dos.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 38, n. 2, p. 118-127, jun. 2008.

JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; BRANDT, S.A.; LAFOND, G.P. & TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society of Americana Journal**, v.56, p.1799-1806, 1992.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil – I. Fumigation with cloroform. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.8, n.3, p.167-177, 1976.

LIMA, H.V.; OLIVEIRA, T.A.; OLIVEIRA, M.M.; MENDONÇA, E.S. & LIMA, P.J.B.F. 2007. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no semi-árido cearense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:1085-1098.

LOSS, A.; MORAES, A.G. de L.; PEREIRA, M.G.; SILVA, E.M.R. da.; ANJOS, L.H.C. dos. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. *Comunicata Scientiae* 1(1): 57-64, 2010.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; FERREIRA, E. P.; SANTOS, L. L.; BEUTLER, S. J.; FERRAZ JÚNIOR, A. S. L. Frações oxidáveis do carbono orgânico em argissolo vermelho-amarelo sob sistema de aléias. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 33, n. 4, p. 867-874, 2009.

MALAVOLTA, E. Fertilizantes, corretivos e produtividade: mitos e fatos. In: Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas. Piracicaba, 1992. Anais... Campinas: Fundação Cargill, 1992. p.89- 153.1992.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação ativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de primavera do leste (MT). Rev. Brasileira de Ciência do solo. Viçosa, v.27, p.425-433, 2003.

Site: MDA:<http://sistemas.mda.gov.br/arquivos/2246122356.pdf> . Acesso: 07 de junho 2014.

MENDES, L.C.; SOUZA, L.V.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Propriedades biológicas em agregados de um latossolo vermelho-escuro sob plantio convencional e direto no cerrado. Revista Brasileira de Ciências do Solo. v.27.p.435-443, 2003.

MENEZES, R.S.C. e SILVA, T.O. da. Mudanças na fertilidade de u,m Neossolo Regolítico após seis anos de adubação orgânica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.12, n.3, p. 251-257. 2008.

MERGULHÃO, A.C.E.S. Aspectos ecológicos e moleculares de fungos micorrízicos arbusculares. p.152. 2006. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife – 2006.

MIFLIN, B.J., LEA, P.J. The pathway of nitrogen assimilation in plants. Phytochemistry, New York, v.15, p.873-885, 1976.

MOTHÉ, C.G.; AZEVEDO, A.D. de. **Análise térmica de materiais**. 1<sup>o</sup> ed. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2009.

MURPHY, J.; J. P. RILEY. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. Analytica Chimica Acta, v. 27, p.31-36, 1962.

NICHOLS, K.A.; WRIGHT, S.F. Carbon and nitrogen in operationally defined soil organic matter pools. Biol. Fert. Soils, 43:215–220, 2006.

OLIVEIRA, M.V.W.J. de A.; SALCEDO, I.H. Caracterização da Fração Leve da Matéria Orgânica do Solo em área de Caatinga sob Exploração Madeireira. XVII Conic e II Conit, UFPE/CTG – 24 a 26/11/2010.

FERREIRA, G.B.; SILVA, M.S.L. da.; COSTA, M.B.B. da.; MOREIRA, M.M.; OLIVEIRA, P.C.E.; CARVALHO, C.J.R. Fósforo, nitrogênio, lignina, celulose e polifenóis em amostras de serrapilheira foliar de *Neea macrophylla*, *Cetropia palmata* e *Casearia arbórea*, no Nordeste do Estado do Pará. Revista Brasileira de Agroecologia, v.4, n.3, p.20-28. 2009.

PEREIRA, C.D.; FLORIANO, P.R.C.; MACHADO, C.T. de T.; ALBUQUERQUE, L.B. de.; AQUINO, F. de G. Teor de glomalina e número de esporos de fungos

micorrízcos argusculares em áreas de matas ripadas degradadas do Distrito Federal. FertBio, 17 a 21 de Setembro – Maceió – Alagoas, 2012.

PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BEUTLER, S.J. e TORRES, J.L.R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.45, n.5, p.508-514, maio 2010.

PÉREZ MARIN, A.M.; MENEZES, R.S.C.; SILVA, E.D.; SAMPAIO. **Efeito residual da adubação orgânica sobre a produtividade de milho em sistema agroflorestal.** Rev. bras. eng. agríc. ambient. vol.14 no.12 Campina Grande Dec. 2010.

PURIN, S.; RILLING, M. C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalina: limitations, progress, and a new hypothesis for its function. Pedobiologia, v. 51, p. 123-130, 2007.

REINALDO, L.R.L.R.; ARRUDA, L.V. de.; FIGUEIREDO, V.S.; SANTOS, M.P. dos. Culturas Agrícolas e Características Químicas dos Solos de Alguns Municípios da Mesorregião do Agreste Paraibano. Caminhos de geografia – Revista on line – WWW.ig.ufu.br/revista/caminhos.html.

RILLIG, M. C. et al. (Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. Plant and Soil, the Hague, v. 253, p. 293-299, 2003.

RILLIG, M. C. et al. **Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change.** Plant and Soil, the Hague, v. 253, p. 293-299, 2003.

SAMPAIO, E. V. S. B. e SALCEDO, I. H. Efeito da adição de nitrogênio e palha-14C na liberação de CO<sub>2</sub> e formação de biomassa microbiana em latossolo vermelho amarelo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 6, p. 177-181, 1982.

SEGNINI, A.; SANTOS, L.M. dos.; SILVA, W.T.L.; MARTIN-NETO L.; BORATO, C.E.; MELO, W.J. de.; BOLONHEZI, D. Estudo Comparativo de Métodos para a Determinação da Concentração de Carbono em Solos com altos Teores de Fe (Latossolos). Quim. Nova, Vol. 31, No. 1, 94-97, 2008.

SILVA, M.L.do N.; CAVALCANTE, J.S.J.; REBOUÇAS, C.A.M.; et al. Avaliação dos Atributos químicos do Solo submetidos a diferentes manejos em agroecossistemas de produção familiar no Rio Grande do Norte. Cadernos de Agroecologia – ISSN 2236-7934 – vol 8, Nº.2, Nov 2013. Porto Alegre/RS.

SILVÉRIO, P.F.; GONÇALVES, C. Influência dos métodos de determinação da fração de carbono orgânico em solos nos estudos de qualidade da água subterrânea e de avaliação de risco. Anais XV Congresso brasileiro de águas subterrâneas. 11 a 14 de novembro de 2008 - LOCAL: Natal – RN. p.2 – 11.

SNYDER, J.D.; TROFYMOW, J.A. A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure for determining organic and inorganic carbon in plant and soil sample. In: *Communications in Soil Science Plant Analysis*, v. 15, p. 587-597, 1984.

SOUSA, C. da S.; MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V. de S.B.; LIMA, F. de S. Influências da temperatura de armazenamento e de extratores na determinação de glomalina em solos Paraibanos. *Rev. Cienc. Agron.*, v. 42, n. 4, p. 837-841, out-dez, 2011.

SOUSA, S.M.S.C. 2006. Relações entre vegetação, relevo, fertilidade do solo e matéria orgânica em bacia hidrográfica de região semi-árida. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal da Paraíba, Areia. P. 64.

SOUZA, C.S.; MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B. e LIMA, F.S.L. Glomalina: Característica, produção, limitações e contribuição nos solos. *Semina: Ci. Agron.*, 33.3033-3044. 2012.

SOUZA, H.A. de; CAVALCANTE, A.C.R.; TONUCCI, R.G.; POMPEU, R.C.F.F.; et al. Níveis críticos para atributos do solo pela distribuição normal reduzida em culturas anuais de subsistência. *Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Campina Grande, PB, UAEA/UFCCG.* v.18, n.4, p.425–430, 2014.

SOUZA, N.de J. de. *Desenvolvimento Econômico*. 5<sup>o</sup> ed. São Paulo: Atlas, 2005.

SPADOTTO, C.A.; GOMES, M.A.F.; LUCHINI, L.C.; ANDRÉA, M.M. *Agrotoxics environmental risks monitoring: principles and recommendations*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 29pp (Documentos, 42) (in Portuguese). 2004.

SPARLING, G.P. 1992. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian Journal of Soil Resource*, 30:195-207, 1992.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian Journal of Soil Research*, v.30, p.195-207, 1992.

SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. *Geoderma*, 114(3/4): 143-144. 2003.

TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 1:301-307.

TABATABAI, M. A. Soil enzyme. In: WAYER, R.W.; ANGLE, J. S.; BOTTOMLEY, P. J. (eds). *Methods of soil Analyses. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*, Madison: **Soil Science Society of America**, Part 2, p. 778-835, 1994.

TORRES, F.J.V.; SALCEDO, I.H. Sazonalidade do teor da Fração Leve da Matéria Orgânica do Solo em área de Vegetação de Caatinga Preservada ou Desmatada no Semiárido Pernambucano. XVII Congresso de Iniciação Científica I Congresso de

Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. 27, 28 e 29 de outubro de 2009.

TOTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ, V.H.; SHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Ed.). Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2, p. 195-276. 2002.

TURNER, B. L.; HAYGARTH, P. M. Phosphatase activity in temperate pasture soils: Potential regulation of labile organic phosphorus turnover by phosphodiesterase activity. **Science of The Total Environment**, v. 344, n. 1-3, p. 27-36, 2005.

VENZKE FILHO, S.P. FEIGL, B.J.; PICCOLO, M.C. SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C.C. biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais – Tibagi, PR. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:599-610. 2008.

WALLEY, F.L. & GERMIDA, J.J. 1995. Estimating the viability of vesicular-arbuscular mycorrhizae fungal spores using tetrazolium salts as vital stains. *Mycologia*, 87(2): 273-279.

WRIGHT, S.F. & UPADHYANA, A.A. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalina, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 198: 97-107.

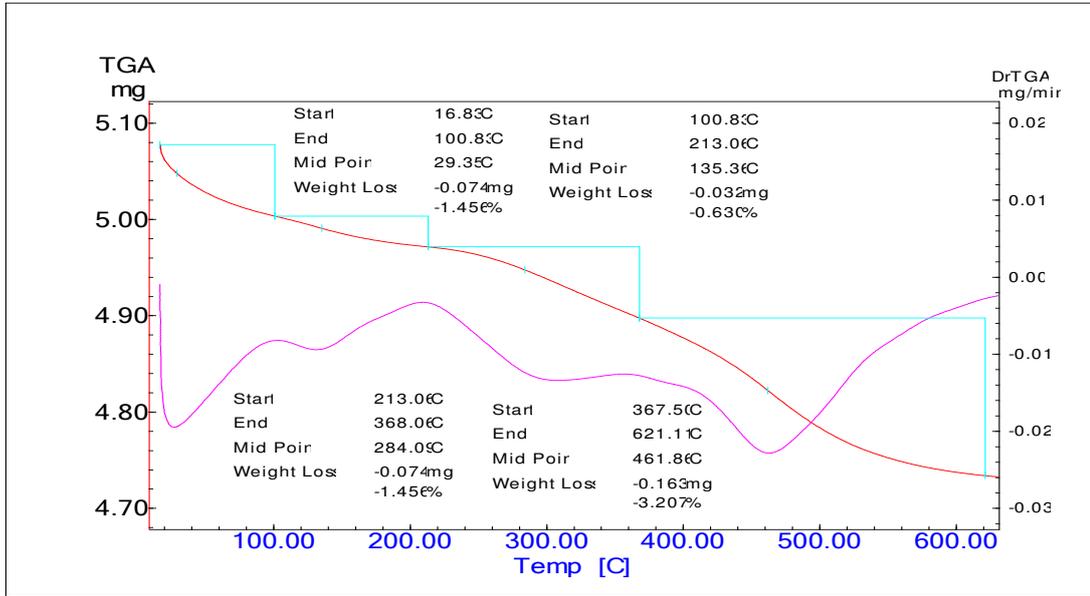
XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba-CE. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 30: 247-258. 2006.

ZOZ, T.; LANA, M. do C.; STEINER, F.; FRANDOLOSO, J.F.; FEY, R. Influência do pH do Solo e de Fertilizantes Fosfatados sobre a Adsorção de Fósforo em Latossolo Vermelho. *Synergismus scyentifica UFPR*, Pato Branco, 04 (1). 2009.

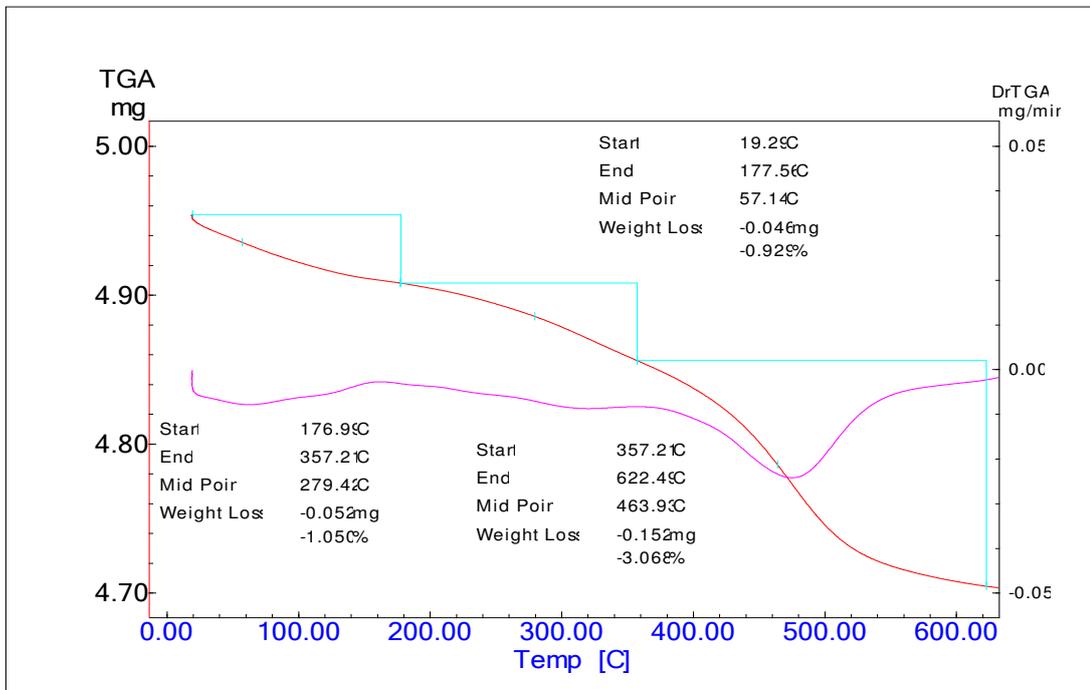
# APÊNDICE

## CURVAS TERMOGRAVIMÉTRICAS

T1.



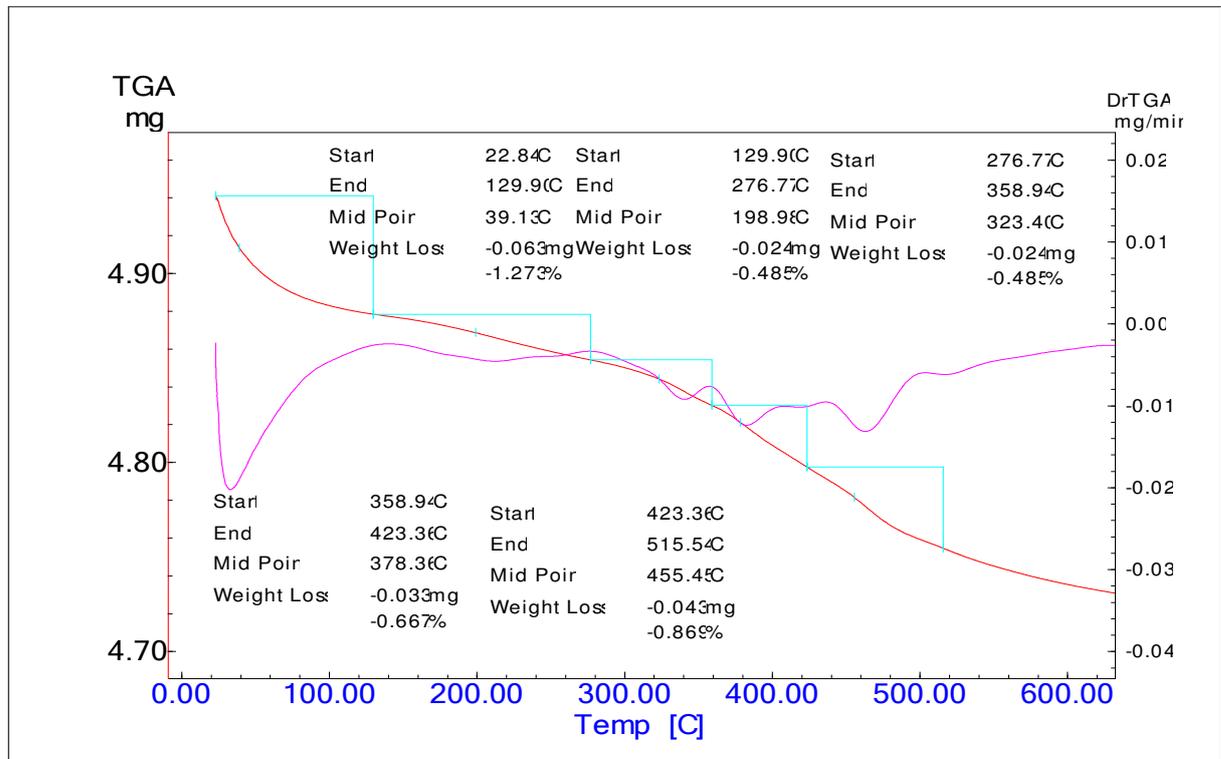
T2.



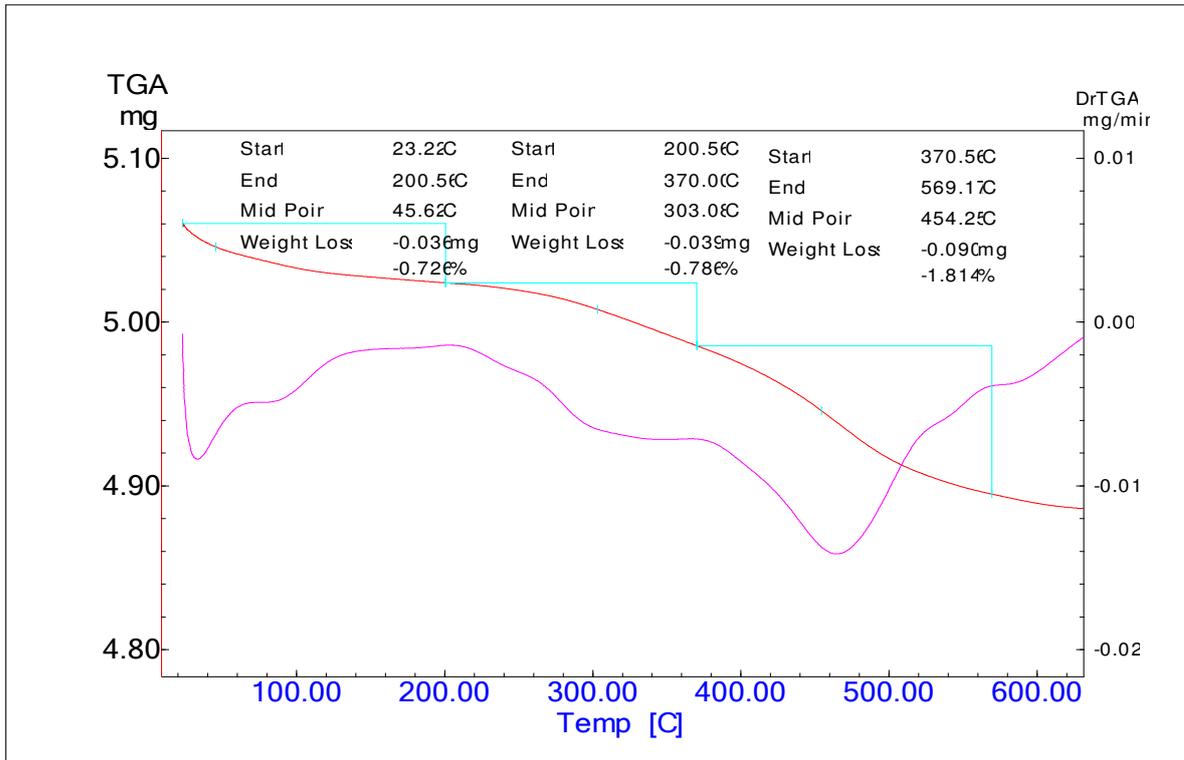
T3.



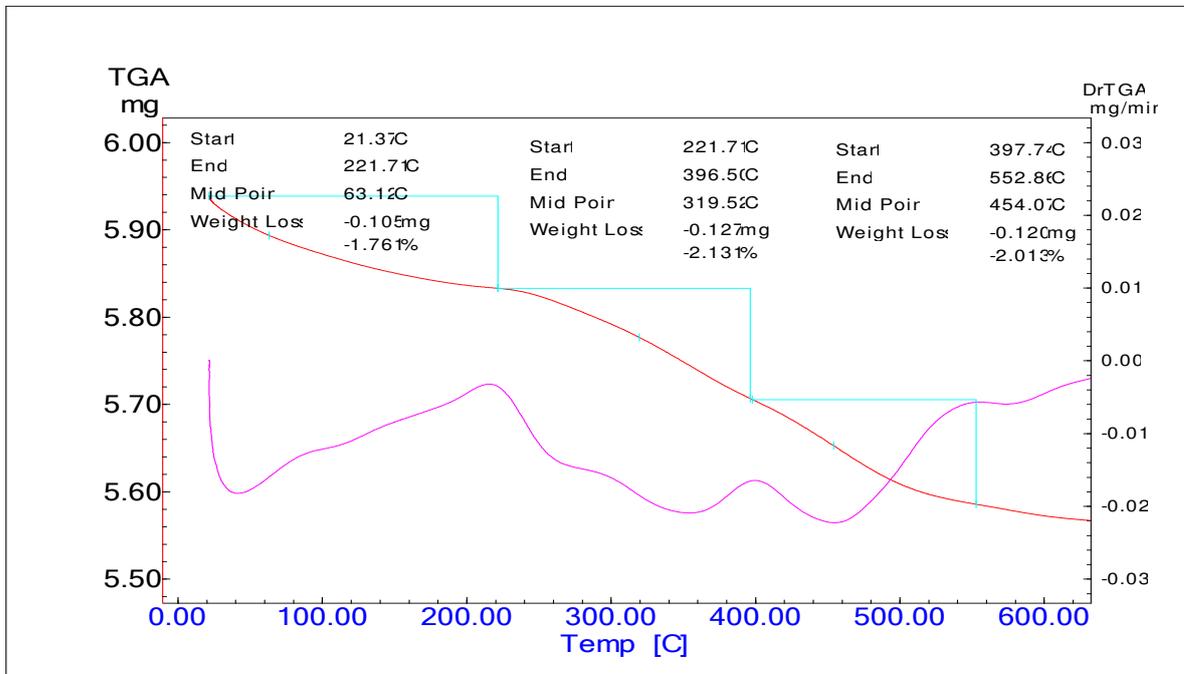
T4.



T5.



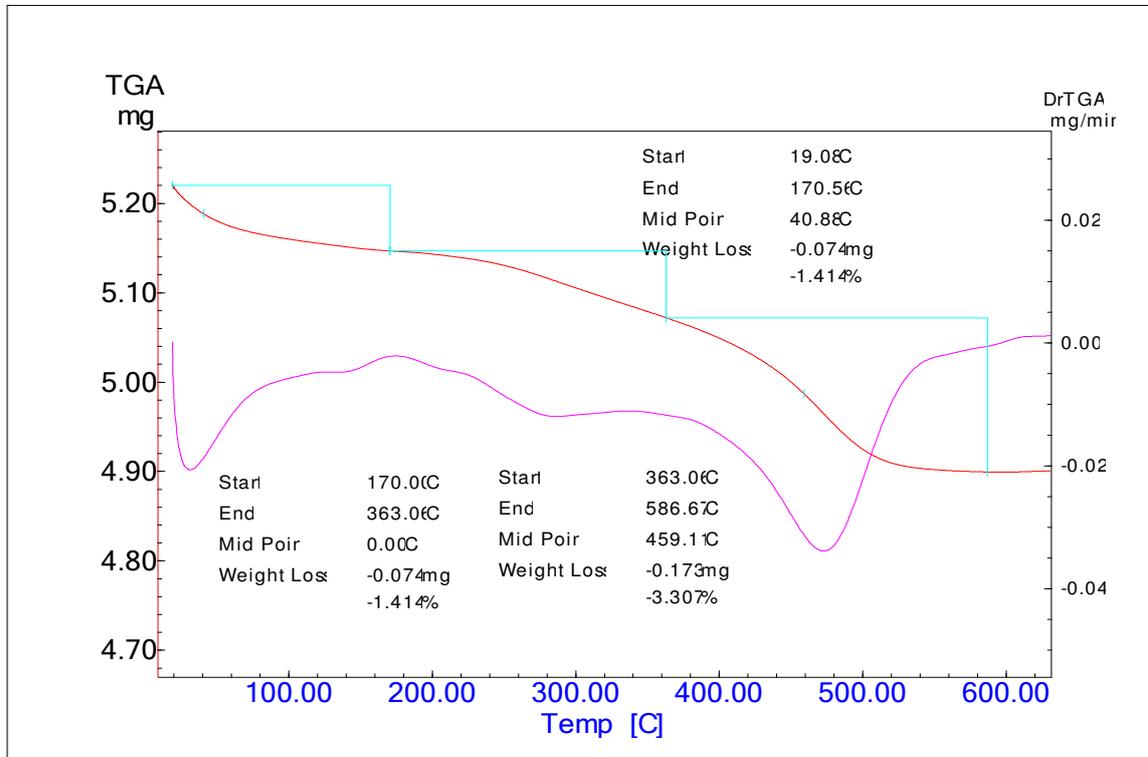
T6.



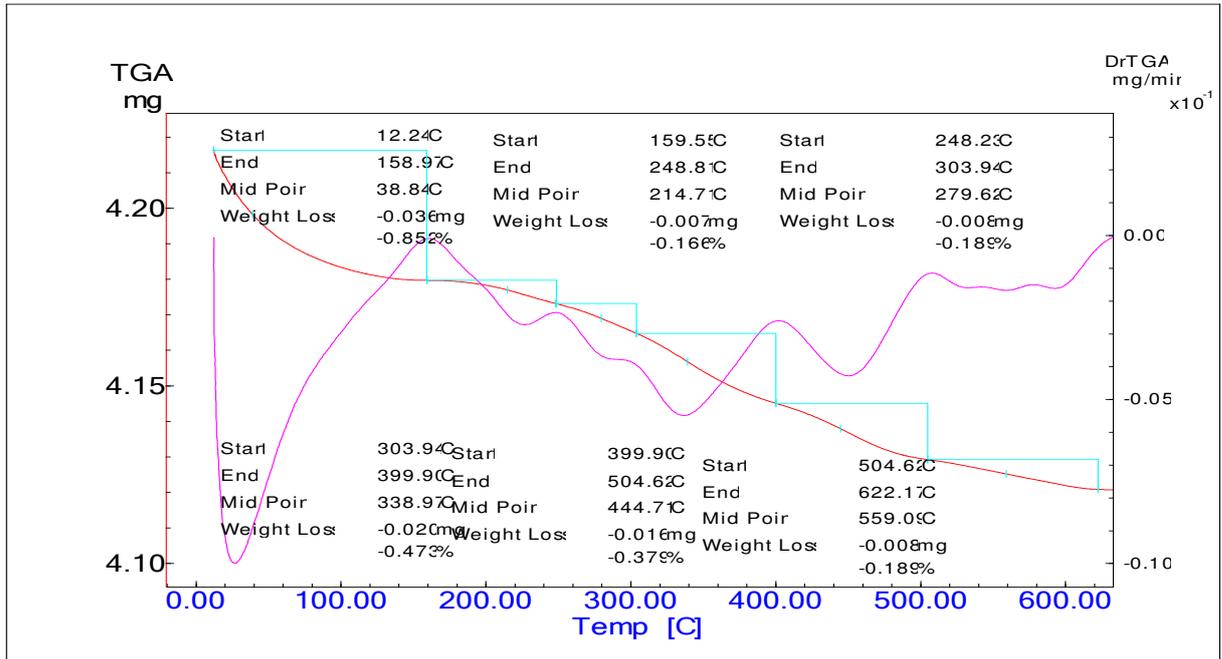
T7.



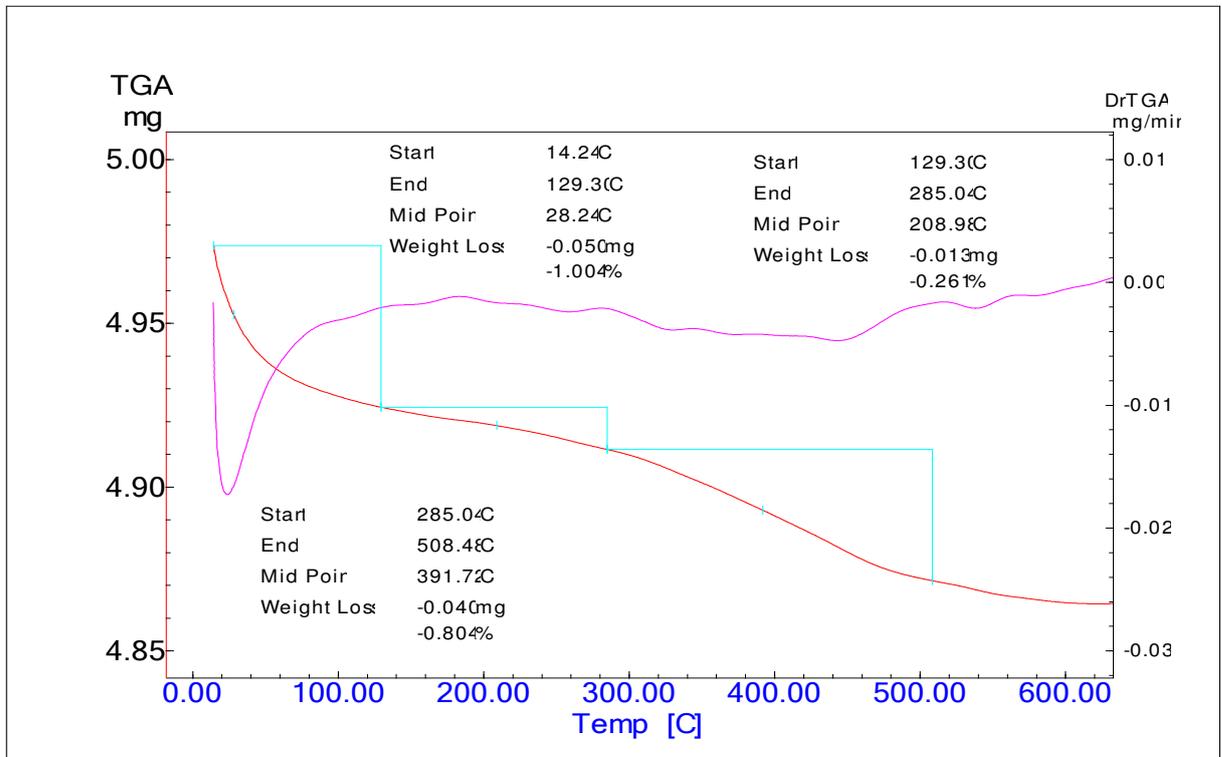
T8.



T9.



T10.



T11.



T12.

