



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO E TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

TESE DE DOUTORADO

ESTOQUE DE CARBONO EM DIFERENTES CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS  
E DE USO DO SOLO NO SEMIÁRIDO PARAIBANO

WASHINGTON BENEVENUTO DE LIMA

Campina Grande-PB

Fevereiro de 2023

WASHINGTON BENEVENUTO DE LIMA

ESTOQUE DE CARBONO EM DIFERENTES CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS  
E DE USO DO SOLO NO SEMIÁRIDO PARAIBANO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientadora: Prof. Dra Lúcia Helena Garófalo Chaves

Campina Grande-PB  
Fevereiro de 2023

L732e

Lima, Washington Benevenuto de.

Estoque de carbono em diferentes condições edafoclimáticas e uso do solo no Semiárido Paraibano / Washington Benevenuto de Lima. - Campina Grande, 2023.

102 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2023.

"Orientação: Profa. Dra. Lúcia Helena Garófalo Chaves."

Referências.

1. Caatinga. 2. Irrigação e Drenagem. 3. Caatinga. 4. Pastagem. 5. Profundidade do Solo. 6. Vertissolo. 7. Planossolo. 8. Luvisolo. I. Chaves, Lúcia Helena Garófalo. II. Título.

CDU 581.5(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE DE DOUTORADO

WASHINGTON BENEVENUTO DE LIMA

ESTOQUE DE CARBONO EM DIFERENTES CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS  
E DE USO DO SOLO NO SEMIÁRIDO PARAIBANO

BANCA EXAMINADORA

	Parecer
Prof. Dra Lúcia Helena Garófalo Chaves – Orientadora UAEAg/CTRN/UFCG	_____
Prof. Dr. Iêde de Brito Chaves – Orientador UAEAg/CTRN/UFCG	_____
Prof. Dra Maria Sallydelândia Sobral de Farias – Membro interno UAEAg/CTRN/UFCG	_____
Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra – Membro interno UAEAg/CTRN/UFCG	_____
Dr. Josely Dantas Fernandes – Membro externo UEPB	_____
Dr. Rodrigo Santana Macedo – Membro externo INSA	_____

Campina Grande-PB  
Fevereiro de 2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA  
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

**ATA DE DEFESA DE TESE PARA CONCESSÃO DO GRAU DE DOUTOR EM  
ENGENHARIA AGRÍCOLA, REALIZADA EM 27 DE FEVEREIRO DE 2023.**

**CANDIDATO(A): WASHINGTON BENEVENUTO DE LIMA**

**COMISSÃO EXAMINADORA:** Lucia Helena Garofalo Chaves - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG; Iede de Brito Chaves - Orientador(a) - CPF: 083.417.104-04; Maria Sallydelândia Sobral de Farias - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG; Hugo Orlando Carvalho Guerra - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG; Josely Dantas Fernandes - Examinador(a) Externo(a) - UEPB; e Rodrigo Santana Macedo - Examinador(a) Externo(a) - INSA (PORTARIA PPGEA - DT 05/2023)

**TÍTULO: ESTOQUE DE CARBONO EM DIFERENTES CONDIÇÕES EDAFOCLIMATICAS E USO DO SOLO NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:** Irrigação e Drenagem

**LOCAL:** Por Videoconferência (plataforma Google Meet)

**HORÁRIO:** 8h

Em sessão pública, após exposição de cerca de 50 minutos, o(a) candidato(a) foi arguido(a) oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema de sua Tese, sendo **APROVADO(A)**, com modificações no texto, de acordo com as exigências da Comissão Examinadora, que deverão ser cumpridas no prazo máximo de 30 (trinta) dias. Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata, assinada pelo(a) coordenador(a) do PPGEA e demais membros da Comissão Examinadora presentes. Campina Grande/PB, 27 de fevereiro de 2023.

Josivanda Palmeira Gomes - Coordenadora do PPGEA

Lucia Helena Garofalo Chaves - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Iede de Brito Chaves - Orientador(a) - CPF: 083.417.104-04

Maria Sallydelândia Sobral de Farias - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Hugo Orlando Carvalho Guerra - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Josely Dantas Fernandes - Examinador(a) Externo(a) - UEPB

Rodrigo Santana Macedo - Examinador(a) Externo(a) - INSA

Washington Benevenuto de Lima - Discente

1. Segue a presente Ata de Defesa de Tese do(a) candidato(a) **WASHINGTON BENEVENUTO DE LIMA**, assinada eletronicamente pela Comissão Examinadora acima identificada.

### FEVEREIRO DE 2023



Documento assinado eletronicamente por **JOSIVANDA PALMEIRA GOMES, COORDENADOR(A)**, em 07/03/2023, às 09:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **HUGO ORLANDO CARVALLO GUERRA, Usuário Externo**, em 07/03/2023, às 10:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Washington Benevenuto de Lima, Usuário Externo**, em 07/03/2023, às 10:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARIA SALLYDELANDIA DE FARIAS ARAUJO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 07/03/2023, às 11:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Josely Dantas Fernandes, Usuário Externo**, em 07/03/2023, às 13:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **LUCIA HELENA GAROFALO CHAVES, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/03/2023, às 14:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Santana Macedo, Usuário Externo**, em 10/04/2023, às 15:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **IEDE DE BRITO CHAVES, Usuário Externo**, em 13/04/2023, às 20:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **3162931** e o código CRC **22590C8B**.

## **Dedico**

Dedico este trabalho à minha amada esposa, Josilene Rodrigues, cujo amor, apoio e compreensão foram pilares indispensáveis para a concretização deste sonho. Você sempre me inspirou a superar desafios e a buscar a excelência. Agradeço por estar ao meu lado, compartilhando cada passo desta jornada.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha profunda gratidão a minha amada família pelo constante apoio, confiança e respeito às minhas decisões. Aos meus pais, Reginaldo Benevenuto e Maria do Socorro, meu irmão Wellington, minha irmã Erika Wanda e minha adorável filha Karen Rebeca, obrigado por estarem ao meu lado em todos os momentos.

À minha esposa e amiga, Josilene, meu sincero agradecimento pelo apoio nos momentos mais difíceis, pelo companheirismo nas conquistas e pelo amor dedicado em cada gesto.

Agradeço também à minha orientadora, Lúcia Helena, pela confiança no sucesso deste projeto, pela sabedoria transmitida e pelo tempo dedicado à minha formação. Ao meu orientador e parceiro de viagens, Iede Chaves, meu reconhecimento pelo suporte e aprendizado compartilhados.

À Coordenação do PPGEA, representada pela Prof. Josivanda, aos professores e funcionários do programa, em especial, a Roberto Roman e a equipe do Laboratório de Irrigação e Salinidade, Jacqueline, Wilson e Fulana, agradeço a disponibilidade e colaboração.

Aos meus amigos e colegas de curso, em especial, Antônio Ramos, Jean Guimarães, Felipe Guedes e Laysa Laurentino, agradeço pela amizade, apoio mútuo e pela troca de conhecimentos ao longo dessa jornada.

À banca examinadora, composta pela Professora Sallydelandia, Professor Hugo Guerra, Josely Dantas e Rodrigo Macedo, expresso minha gratidão pela dedicação na avaliação deste trabalho.

Por fim, agradeço a Deus por guiar meus passos e por colocar cada uma dessas pessoas, e muitas outras, em meu caminho, tornando tudo possível. Minha profunda gratidão a todos vocês.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xiv
RESUMO .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
1. INTRODUÇÃO .....	18
2. OBJETIVOS.....	20
2.1. Objetivo Geral.....	20
2.2. Objetivos específicos .....	20
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	21
3.1. Matéria orgânica do solo.....	21
3.2. Estoque de carbono .....	22
3.2.1. Estoque de carbono em solos do Semiárido brasileiro.....	24
3.2.2. Fatores que influenciam no estoque de carbono .....	25
3.2.2.1. Clima .....	26
3.2.2.2. Uso e cobertura do solo .....	26
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	28
4.1. Localização e caracterização da área de estudo .....	28
4.2. Características edafoclimáticas da Bacia do Rio Paraíba .....	29
4.3. Seleção das áreas de coleta .....	31
4.3.1. Vertissolos .....	33
4.3.2. Planossolos .....	34
4.3.3. Luvisolos.....	36
4.4. Coleta e amostragem.....	38
4.5. Análises no laboratório .....	39
4.6. Cálculo do carbono do solo .....	40
4.7. Variáveis analisadas.....	40
4.8. Análise estatística .....	41
4.8.1. Análise do estoque de carbono orgânico total .....	41
4.8.2. Análise por horizonte.....	41
4.8.3. Análise dos estoques de carbono até os 40 cm de profundidade.....	41
4.8.4. Análise de componentes principais .....	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43

5.1. Avaliação dos estoques de carbono orgânico em Vertissolos sob diferentes tipos de uso e variados pedoambientes .....	43
5.1.1. Análise descritiva .....	43
5.1.2. Estoque de carbono orgânico .....	45
5.1.3. Análise de Componentes Principais .....	48
5.1.4. Estoque de carbono orgânico em profundidade .....	50
5.2. Avaliação dos estoques de carbono orgânico em Planossolos sob diferentes tipos de uso e variados pedoambientes .....	52
5.2.1. Análise descritiva .....	52
5.2.2. Estoque de carbono orgânico .....	55
5.2.3. Análise de Componentes Principais .....	57
5.2.4. Estoque de carbono orgânico em profundidade .....	59
5.3. Avaliação dos estoques de carbono orgânico em Luvisolos sob diferentes tipos de uso e variados pedoambientes .....	63
5.3.1. Análise descritiva .....	63
5.3.2. Estoque de carbono orgânico .....	66
5.3.3. Análise de Componentes Principais .....	67
5.3.4. Estoque de carbono orgânico em profundidade .....	69
5.4. Relação entre estoque de carbono orgânico total e condições edafoclimáticas em diferentes classes de solo .....	71
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	76
7. REFERÊNCIAS .....	77
8. ANEXO I .....	90
9. ANEXO II .....	93
9.1. Vertissolos .....	93
9.2. Planossolos .....	95
9.3. Luvisolos (Bruno não cálcico) .....	97
10. ANEXO III .....	101

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Tabela resumo das localizações e características climáticas dos Vertissolos – V* .....	34
<b>Tabela 2</b> - Tabela resumo das localizações e características climáticas dos Planossolos – S* .....	36
<b>Tabela 3</b> - Tabela resumo das localizações e características climáticas dos Luvisolos – T* .....	38
<b>Tabela 4</b> - Estoque de Carbono por horizonte de solo nos diferentes Usos do Solo para cada Pedoambiente. ....	45
<b>Tabela 5</b> - Resumo da análise de variância para estoque de Carbono Orgânico Total em diferentes pedoambientes e tipos de uso dos Vertissolos. ....	46
<b>Tabela 6</b> - Autovetores dos dois primeiros componentes principais de variáveis químicas e pedoambientais em áreas de Vertissolos. ....	48
<b>Tabela 7</b> – Resumo da análise de variância para os Estoques de Carbono acumulado de 10 à 40 cm de profundidade dos Vertissolos. ....	50
<b>Tabela 8</b> - Estoques de Carbono Orgânico nas profundidades de 0 a 10, 0 a 20 e 0 a 30 cm em função das intensidades de uso e Pedoambientes dos Vertissolos. ....	51
<b>Tabela 9</b> - Estoque de Carbono por horizonte de solo nas diferentes intensidades de uso para cada Pedoambiente. ....	54
<b>Tabela 10</b> - Resumo da análise de variância para Estoque de Carbono Orgânico em diferentes Pedoambientes e intensidades de uso dos Planossolos. ....	55
<b>Tabela 11</b> - Autovetores dos dois primeiros componentes principais de variáveis químicas e pedoambientais em áreas de Planossolos (S). ....	57
<b>Tabela 12</b> - Resumo da análise de variância para os Estoques de Carbono Orgânico acumulado de 10 à 40 cm de profundidade. ....	60
<b>Tabela 13</b> – Estoques de Carbono Orgânico nas profundidades de 0 a 10 e de 0 a 20 cm em função das intensidades de uso e Pedoambientes. ....	60
<b>Tabela 14</b> - Estoque de Carbono por horizonte de solo nas diferentes intensidades de uso para cada Luvisolo nas diferentes regiões. ....	65
<b>Tabela 15</b> - Resumo da análise de variância para Estoque de Carbono Orgânico Total em diferentes Pedoambientes e intensidades de uso dos Luvisolos. ....	66
<b>Tabela 16</b> - Autovetores dos dois primeiros componentes principais de variáveis químicas e pedoambientais em áreas de Luvisolos (T). ....	67
<b>Tabela 17</b> - Resumo da análise de variância para os estoques de carbono acumulado de 10 à 40 cm de profundidade. ....	70
<b>Tabela 18</b> – Estoque de Carbono Orgânico em profundidade acumulado em função dos Pedoambientes com Luvisolo. ....	70
<b>Tabela 19</b> - Correlação de Spearman entre Estoque de Carbono Orgânico Total (COT) e as variáveis ambientais temperatura (T) média, máxima e mínima, altitude, precipitação e profundidade do solo. ....	71

<b>Tabela 20</b> - Atributos químicos dos Vertissolos nos diferentes Pedoambientes, intensidade de uso e horizontes. ....	90
<b>Tabela 21</b> - Atributos químicos dos Planossolos nos diferentes Pedoambientes, intensidade de uso e horizontes. ....	91
<b>Tabela 22</b> - Atributos químicos dos Luvisolos nos diferentes Pedoambientes, intensidade de uso e horizontes. ....	92
<b>Tabela 23</b> - P90 – Vertissolo com A Chernozêmico, C carbonático, fase caatinga hipoxerófila e relevo suave ondulado. Umbuzeiro (Cecília) – PB. ....	93
<b>Tabela 24</b> - P91 - Vertissolo com A moderado, fase caatinga hipoxerófila e relevo suave ondulado. Queimadas/Boqueirão a 8,5 Km – PB. ....	93
<b>Tabela 25</b> - P92 - Vertissolo com A moderado, fase caatinga hipoxerófila e relevo suave ondulado. Barra Santana (Após 8 Km do rio Paraíba) – PB. ....	93
<b>Tabela 26</b> - P95 - Vertissolo com A moderado, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. São Domingos – PB. ....	94
<b>Tabela 27</b> - P38/72 – Vertissolo, fase floresta caducifólia e relevo ondulado. Campina Grande (distrito de Galante) – PB. ....	94
<b>Tabela 28</b> - P39/72 - Vertissolo fase caatinga hipoxerófila relevo suave ondulado. Queimadas a 8,5 Km para Boqueirão - PB. ....	94
<b>Tabela 29</b> - P40/72 - Vertissolo fase caatinga hiperxerófila relevo plano. Souza a Cajazeiras 13,2 Km. Souza - PB. ....	94
<b>Tabela 30</b> - P41/72 - Vertissolo fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado. Sumé-Coxicola - PB. ....	95
<b>Tabela 31</b> - P79/78 - Planossolo Solódico Eutrófico Ta, com A fraco, textura argilosa, fase caatinga hipoxerófila e relevo suave ondulado. Belém/Tacima – PB. ....	95
<b>Tabela 32</b> - P82/78 - Planossolo Solódico Eutrófico Ta, com A moderado, textura média, fase floresta caducifólia e relevo suave ondulado. Araçagi – PB. ....	95
<b>Tabela 33</b> - P84/78 - Planossolo Solódico Eutrófico Ta, com A moderado, textura média, fase caatinga hipoxerófila e relevo plano suave ondulado. Caiçara/Belém – PB. ....	95
<b>Tabela 34</b> - P85/78 - Planossolo Solódico Eutrófico Ta, com A moderado, textura média, fase caatinga hipoxerófila e relevo suave ondulado. Remígio – PB. ....	96
<b>Tabela 35</b> - P43/72 - Planossolo Solódico Eutrófico Ta, com A moderado, textura média, fase caatinga hiperxerófila e relevo plano suave ondulado. Cubatí - PB. ....	96
<b>Tabela 36</b> - P44/72 - Planossolo Solódico Eutrófico Ta, com A moderado, textura média, fase caatinga hiperxerófila e relevo plano e suave ondulado. Boa Vista – PB. ....	96
<b>Tabela 37</b> - P45/72 - Planossolo Solódico Eutrófico, textura arenosa, fase caatinga hiperxerófila e relevo plano. Uirauna – PB. ....	96
<b>Tabela 38</b> - P50 - Bruno Não Cálcico planossólico com A moderado, textura argilosa, fase floresta caducifólia e relevo suave ondulado. Sapé – PB. ....	97
<b>Tabela 39</b> - P51 - Bruno Não Cálcico planossólico com A moderado, textura argilosa, fase floresta caducifólia e relevo suave ondulado. Sapé/Mamanguape – PB. ....	97
<b>Tabela 40</b> - P61 - Bruno Não Cálcico com A fraco, textura média, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. Marizópolis/Cajazeiras – PB. ....	97
<b>Tabela 41</b> - P56 - Bruno Não Cálcico com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. Catolé do Rocha – PB. ....	97

<b>Tabela 42</b> - P57 - Bruno Não Cálcico com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. Jericó – PB. ....	97
<b>Tabela 43</b> - P58 - Bruno Não Cálcico com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. Catolé do Rocha/Jericó – PB. ....	98
<b>Tabela 44</b> - P60 - Bruno Não Cálcico com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. São Bento/Coremas – PB. ....	98
<b>Tabela 45</b> - P63 - Bruno Não Cálcico vértico com A moderado, textura argilosa, fase pedregosa caatinga hipoxerófila e relevo ondulado. Campina Grande (Galante) – PB. ....	98
<b>Tabela 46</b> - P64 - Bruno Não Cálcico vértico com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. São José/Jardim Piranhas – RN. ....	98
<b>Tabela 47</b> - P67 - Bruno Não Cálcico vértico com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa caatinga hiperxerófila. Belém Brejo Cruz/Patú – RN. ....	98
<b>Tabela 48</b> - P68 - Bruno Não Cálcico vértico com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo ondulado. Montadas/Barra de Sta Rosa – PB. ....	99
<b>Tabela 49</b> - P74 - Bruno Não Cálcico vértico com A fraco, textura argilosa, caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. Sumé – PB. ....	99
<b>Tabela 50</b> - P70 - Bruno Não Cálcico vértico com A fraco, textura média, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. Barra de Sta Rosa – PB. ....	99
<b>Tabela 51</b> - P71 - Bruno Não Cálcico vértico com A fraco, textura média com cascalho, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. Juazeirinho – PB. ....	99
<b>Tabela 52</b> - P72 - Bruno Não Cálcico vértico com A fraco, textura média, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. S. J. Espinharas – PB. ....	99
<b>Tabela 53</b> - P75 - Bruno Não Cálcico vértico com A fraco, textura média, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo ondulado. Barra de Sta. Rosa/Pocinhos – PB. ....	100

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Bacias do estado da Paraíba com setorização da bacia do Rio Paraíba, Brasil. .....	28
<b>Figura 2</b> - Mapa das classes de solo da Bacia do Rio Paraíba.....	31
<b>Figura 3</b> - Isoietas da bacia do Rio Paraíba. ....	32
<b>Figura 4</b> – Altimetria do Rio Paraíba. ....	32
<b>Figura 5</b> - Pontos de coleta dos Vertissolos no mapa de isoietas (A) e classes de solo (B) e altimetria (C).....	33
<b>Figura 6</b> - Pontos de coleta dos Planossolos no mapa de isoietas (A) e classes de solo (B) e altimetria (C).....	35
<b>Figura 7</b> - Pontos de coleta dos Luvisolos no mapa de isoietas (A) e classes de solo (B) e altimetria (C).....	37
<b>Figura 8</b> - Concentração de Carbono Orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em profundidade (cm) entre os diferentes Usos do Solo para cada Pedoambiente. ....	43
<b>Figura 9</b> - Densidade do solo ( $\text{kg dm}^3$ ) em profundidade (cm) entre os diferentes usos para cada Pedoambiente. ....	44
<b>Figura 10</b> - Estoques de Carbono Orgânico Total em função dos diferentes tipos de uso dos Vertissolos.....	47
<b>Figura 11</b> - Biplot com base nos valores das variáveis e pontuação para os tratamentos dos dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) dos Vertissolos.....	49
<b>Figura 12</b> - Concentração de Carbono Orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em profundidade (cm) entre as diferentes intensidades de uso para cada Pedoambiente. ....	53
<b>Figura 13</b> - Densidade do solo ( $\text{kg dm}^3$ ) em profundidade (cm) entre as diferentes intensidades de uso para cada Pedoambiente dos Planossolos.....	54
<b>Figura 14</b> – Estoques de Carbono Orgânico Total em função dos pedoambientes para os Planossolos. ....	56
<b>Figura 15</b> – Estoques de Carbono Orgânico Total em função das intensidades de uso para os Planossolos.....	57
<b>Figura 16</b> - Biplot com base nos valores das variáveis e pontuação para os tratamentos dos dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) dos Planossolos. ....	59
<b>Figura 17</b> - Estoques de Carbono Total em função dos Pedoambientes (A) e em função das intensidades de uso (B) na camada de 0 a 30 cm de profundidade. ....	62
<b>Figura 18</b> - Concentração de Carbono Orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em profundidade (cm) entre as diferentes intensidades de uso para cada Pedoambiente. ....	63
<b>Figura 19</b> - Densidade do solo ( $\text{kg dm}^3$ ) em profundidade (cm) entre as diferentes intensidades de uso para cada Pedoambiente. ....	64
<b>Figura 20</b> - Estoques de Carbono Orgânico Total em função dos Pedoambientes dos Luvisolos.....	67
<b>Figura 21</b> - Biplot com base nos valores das variáveis e pontuação para os tratamentos dos dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) dos Luvisolos.....	69
<b>Figura 22</b> - Estoque de Carbono Orgânico Total para cada classe de solo em função das condições edafoclimáticas e intensidades de uso. ....	72

<b>Figura 23</b> - Profundidade efetiva dos perfis e dos horizontes para cada intensidade de solo e as diferentes condições edafoclimáticas.....	74
<b>Figura 24</b> - Anéis volumétricos antes de serem inseridos na camada subsuperficial..	101
<b>Figura 25</b> - Anéis volumétricos inseridos em perfil subsuperficial.....	101
<b>Figura 26</b> - Ponto de coleta contendo amostras de repetição com material de diferentes profundidades em área de Roçado no município de Campina Grande-PB. ....	101
<b>Figura 27</b> - Perfil de Luvissoleto aberto em área de Pastagem no município de Boa Vista-PB. ....	101
<b>Figura 28</b> - Perfil de Vertissolo em área de Mata no município de Cabaceiras-PB....	101
<b>Figura 29</b> - Perfil de Planossolo em área de Pastagem no município de Campina Grande-PB. ....	101
<b>Figura 30</b> - Perfil de Luvissoleto em área de Mata no município de Amparo-PB.....	102
<b>Figura 31</b> - Perfil de Luvissoleto em área de Pastagem no município de Boa Vista. ....	102
<b>Figura 32</b> - Perfil de Vertissolo em área de Pastagem no município de Queimadas-PB. ....	102
<b>Figura 33</b> - Perfil de Luvissoleto em área de Pastagem no município de Serra Branca-PB. ....	102

Lima, W. B. de. **Estoque de carbono em diferentes condições edafoclimáticas e de uso no Semiárido paraibano**. 2023. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, PB.

**RESUMO:** A presente pesquisa possui como objetivo avaliar a influência do gradiente climático e da intensidade de uso da terra nos estoques de carbono de três classes de solo da região Semiárida Paraibana. A área de estudo é a região do Cariri Paraibano, localizada na parte central do Estado da Paraíba, sobre o Planalto da Borborema. As classes de solos para estudo foram selecionadas baseadas na representatividade geográfica, diversidade pedológica e interesse agroecológico, sendo elas: Vertissolo Háptico, Planossolo Nátrico e Luvisolo Crômico. Para cada solo em três áreas com distintas condições climáticas (precipitação e temperatura) foram coletadas amostras para três condições de intensidades de uso (roçado, pastagem e mata nativa), totalizando vinte e sete pontos de coleta de solo. Em cada ponto de coleta foi aberto um perfil para identificação, descrição e amostragem dos horizontes, e em mais quatro pontos do entorno. E também foram analisadas as variáveis densidade do solo, concentração de carbono orgânico, estoque de carbono por horizonte, estoque de carbono total, estoque de carbono em profundidade e para as correlações, todas as variáveis anteriormente citadas somadas com as análises químicas do solo, obtidas em laboratório, profundidade do solo, altitude e dados climáticos (precipitação e temperatura média anual). Os resultados indicam que, as diferentes condições edafoclimáticas e de intensidade de uso do solo influenciaram de forma distinta cada classe de solo avaliada e a partir das correlações dos dados, é possível afirmar que solos com perfis mais profundos e em regiões de maiores precipitações possuem maiores estoques de carbono orgânico total.

**Palavras-chave:** Caatinga, pastagem, profundidade do solo, Vertissolo, Planossolo, Luvisolo.

Lima, W. B. de. **Carbon stock under different edaphoclimatic conditions and use intensities in the semi-arid region of Paraíba**. 2023. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, PB.

**ABSTRACT:** This research aims to evaluate the influence of the climatic gradient and the intensity of land use on the carbon stocks of three soil classes in the semi-arid region of Paraíba. The study area is the region of Cariri Paraibano, located in the central part of the State of Paraíba, on the Planalto da Borborema. The soil classes for study were selected based on geographic representation, pedological diversity and agroecological interest, namely: Haplic Vertisol, Nátric Planosol and Crômico Luvisol. For each soil in three areas with different climatic conditions (precipitation and temperature), samples were collected for three conditions of use intensity (clearing, pasture and native forest), totaling twenty-seven soil collection points. At each collection point, a profile was opened for identification, description and sampling of horizons, and at four surrounding points. And the variables soil density, organic carbon concentration, carbon stock per horizon, total carbon stock, carbon stock in depth and for the correlations, all the previously mentioned variables added with the chemical analyzes of the soil, obtained in the laboratory, soil depth, altitude and climate data (precipitation and average annual temperature). The results indicate that the different edaphoclimatic conditions and the intensity of land use have a distinct influence on each evaluated soil class and, based on the data correlations, it is possible to state that soils with deeper profiles and in regions with greater precipitation have greater total organic carbon stocks.

**Key-words:** Caatinga, pasture, soil depth, Vertisol, Planosol, Luvisol.

## 1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global ocasionado pelo aumento da emissão dos gases de efeito estufa (GEE), acaba por induzir a busca por estratégias que visam a redução das fontes desses gases (Carvalho et al., 2010). O dióxido de carbono é considerado o gás mais relevante no aumento do efeito estufa, tendo em vista, a elevada e crescente concentração na atmosfera (Araújo et al., 2021). Esse aquecimento pode ser retardado combinando a redução das emissões antrópicas com a remoção do CO<sub>2</sub> atmosférico (IPCC, 2013).

As estimativas indicam que os solos chegam a armazenar aproximadamente três vezes mais carbono do que a atmosfera (Clemente & Moreira, 2021) e quatro vezes mais que a biota (Silva e Mendonça, 2007), sendo um eficiente sumidouro de carbono, o que pode reduzir bastante o CO<sub>2</sub> da atmosfera (Schulz et al., 2016). Assim, sistemas agrícolas ou de manejos de recursos naturais podem potencializar ou mitigar a emissão dos GEE para atmosfera (Carvalho et al., 2010). As mudanças de uso e cobertura da terra, principalmente, a conversão de florestas em pastagem ou áreas agrícolas, também contribuem para essas emissões, tanto a curto prazo, devido à combustão da biomassa, quanto a longo prazo, por causa da decomposição da matéria orgânica do solo (Menezes et al., 2021).

Sobre o tema, estudos apontam perdas de até 50% dos estoques de carbono do solo nas regiões secas do mundo até o final do século, levando a um aumento considerável da temperatura média global (Santos et al., 2022b). A redução pode estar atrelada, além das propriedades intrínsecas do solo e do uso e cobertura, com as condições climáticas locais, sobretudo, temperatura e precipitação (Rufino et al., 2022).

Dentre as regiões secas, o semiárido brasileiro é caracterizado pela forte insolação, temperaturas relativamente altas e chuvas escassas, irregulares e concentradas em um curto período (Silva et al., 2010). A mudança do uso do solo com a redução da cobertura vegetal nativa no semiárido brasileiro leva ao cenário de degradação dos recursos naturais, especialmente, na redução da matéria orgânica do solo (Fracetto et al., 2012), e assim, dos estoques de carbono. Essa região sofre há décadas com o desmatamento

predatório, possuindo um cenário composto por campos agrícolas, pastagens e pequenas porções de áreas de mata nativa (Menezes et al., 2021).

É por isso que o conhecimento sobre os estoques de carbono orgânico nos solos e os impactos das mudanças no uso e cobertura da terra nos diferentes ambientes são importantes para as estimativas de remoção e emissão de GEE pelos países, a exemplo do Brasil, que pretendem estimar as contribuições a longo prazo para atender os acordos climáticos globais (Menezes et al., 2021).

Embora várias pesquisas avaliando as alterações do carbono orgânico do solo no Semiárido brasileiro sob diferentes usos da terra venham sendo realizadas nos últimos anos (Bernardi et al., 2007; Fracetto et al., 2012; Gonzaga, 2017; Medeiros et al., 2021; Menezes et al., 2021; Neves et al., 2021; Santana et al., 2019; Santos et al., 2021a; Santos et al., 2021b) poucas consideram os estudos dos solos e seus ambientes de ocorrência (pedoambientes) conjuntamente, além de não ponderarem as classes de solo, seus horizontes e um número de amostras representativas para as respectivas regiões.

No entanto, Troian et al. (2020) analisando os estoques de carbono sob diferentes tipos de uso e manejo de solo em Iguatemi-RS, identificaram que as áreas cultivadas apresentaram menores estoques e maiores densidades de solo, quando comparadas com as áreas de mata nativa. Esses resultados sugerem a degradação da qualidade dos solos dado os efeitos decorrentes das perdas da matéria orgânica e da compactação na produtividade dos solos. Para Fracetto et al. (2015), tendo como base de estudo as emissões de GEE no semiárido baiano, concluíram que a mudança no uso do solo, de vegetação natural para o cultivo de mamona, foi o principal componente na emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Entretanto, dada a extensão e a diversidade do território brasileiro ainda são poucas as informações disponíveis sobre os estoques de carbono orgânico nas diferentes classes de solos brasileiros (Silva e Mendonça, 2007) sob distintos usos e regiões do país (Fidalgo et al., 2007; Menezes et al., 2021), principalmente, na Semiárida que, mesmo possuindo o único bioma exclusivamente brasileiro, a Caatinga, é a região menos estudada.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Avaliar a influência dos pedoambientes e do de uso do solo nos estoques de carbono de três classes de solo da região Semiárida Paraibana.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Determinar os estoques de carbono em perfis de diferentes classes de solos;
- Avaliar o efeito dos pedoambientes nos estoques de carbono nas diferentes classes de solo;
- Avaliar o efeito dos diferentes usos nos estoques de carbono nas classes de solo;
- Correlacionar os atributos dos solos, do clima e dos diferentes usos com os estoques de carbono.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1. Matéria orgânica do solo**

A matéria orgânica é material estranho para rochas e um componente fundamental do sistema solo, com sua origem no processo da fotossíntese, realizado por vegetais clorofilados que transformam elementos da atmosfera, tais como gás carbônico, oxigênio, hidrogênio e nutrientes minerais, em compostos orgânicos. Os elementos carbono e nitrogênio, não existentes no material de origem, são incorporados à matéria orgânica, na forma de compostos orgânicos, ao longo do tempo (Raij, 2017).

A matéria orgânica do solo (MOS) pode ser definida como todo material orgânico derivado dos vegetais ou animais, a citar: liteira, fragmentos de resíduos, biomassa microbiana, compostos solúveis e a matéria orgânica intimamente ligada aos argilominerais do solo. Sendo originária, em sua grande parte, da vegetação local, varia entre diferentes espécies e estágios de desenvolvimento, podendo também a fração orgânica do solo ser constituída de resíduos em diferentes estágios de decomposição, produtos excretados pelos organismos vivos e produtos de síntese (Cunha et al., 2015).

A dinâmica da MOS é governada pela contínua ação dos fatores físicos, químicos e biológica, representando as principais entradas (Ogle et al., 2005) e a oxidação, mineralização, erosão e a lixiviação, representando as principais saídas do sistema (Xavier et al., 2006). Sob vegetação natural, o teor de matéria orgânica no solo representa um estágio de equilíbrio entre as adições pelo sistema biológico e a fauna local e as perdas por decomposição (Raij, 2017).

No solo a matéria orgânica é condicionadora por atuar no fornecimento de nutriente às plantas, na retenção de cátions, na complexação de elementos tóxicos, na estabilidade de agregados, na infiltração e retenção de água e na atividade microbiana, constituindo-se em um parâmetro fundamental para a capacidade produtiva dos solos (Felix, 2016).

A constituição química da MOS, ao contrário dos minerais, não é definida em termos de compostos específicos, pois é formada de uma multiplicidade de resíduos orgânicos que, por sua vez, são submetidos aos mais diversos tipos de reações. Se considera que a MOS possui, em média, 580 g/kg de carbono em sua composição e que juntamente com os demais elementos, formam as estruturas básicas desse compartimento do solo, constituídas, principalmente, de cadeias e anéis de carbono, contendo hidrogênio e oxigênio, e grupamentos funcionais diversos, dentre os quais se destacam nitrogênio, enxofre e fósforo (Raij, 2017).

Os maiores teores de MOS ficam na superfície do solo (Bernardi et al., 2004), assim, seu conteúdo é facilmente degradado quando submetido a sistemas de cultivos intensivos que revolvem o solo. Dessa forma, o conteúdo de MOS que estava protegido em macroagregados é redistribuído em microagregados que são mais susceptíveis ao ataque dos microrganismos, favorecendo, portanto, a mineralização (Medeiros, 2019).

### **3.2. Estoque de carbono**

O Brasil, o maior país tropical do mundo, tem um perfil singular de emissões de gases do efeito estufa – GEE. A agricultura e a pecuária, responsáveis por 25% do produto interno bruto (PIB), requerem a expansão contínua das terras para cultivo e pastagem, levando à conversão da vegetação nativa. A mudança no uso da terra, especialmente, o desmatamento, é hoje a principal fonte de emissões nacionais de GEE (ESMAP, 2010).

Por outro lado, as mudanças climáticas podem apresentar impactos negativos na população da região semiárida, sobretudo, por essa região apresentar os maiores índices de vulnerabilidade socioeconômica, pela dependência da atividade agrícola de sequeiro, o baixo grau de tecnificação e a sujeição à disponibilidade dos recursos naturais (Angelotti et al., 2011).

Criada em 1992, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, solicitou dos países membros a realização de inventários recorrentes de emissões de gases gerados por atividades agrícola, industrial e urbanas. Os solos como

componentes do ciclo biogeoquímico do carbono, armazenam cerca de quatro vezes mais C que a biomassa vegetal e quase três vezes mais que a atmosfera (Fidalgo et al., 2007).

Segundo Carvalho et al. (2010), a quantidade de carbono armazenada no solo até um metro de profundidade seja de 1.576 Pg ( $\text{Pg} = 10^{15} \text{ g}$ ) em 12,8 bilhões de hectares distribuídos nos continentes. Considerando apenas os 30 cm superficiais do solo, a quantidade de carbono fica em torno de 800 Pg, sendo essa a mesma quantidade armazenada no compartimento atmosférico. Pela estimativa metade do carbono do solo, cerca de 787 Pg, fica em solos sob florestas, enquanto, sob pastagem e cultivo agrícola, as quantidades sejam 500 e 170 Pg, respectivamente.

O equilíbrio dinâmico representa o estoque de carbono de um solo e ocorre entre as taxas de adição, advindas do incremento de resíduos orgânicos de origem vegetal ou animal, e de remoção devido as taxas de decomposição, mineralização da MOS ou mesmo da erosão do solo (Cardoso et al., 2015; Medeiros, 2019).

Fidalgo et al. (2007), objetivando avaliar os estoques de carbono a nível nacional e utilizando uma base de dados de 1542 perfis obtidos entre 1958 e 2001, concluíram que as estimativas de carbono apresentaram valores próximos entre si, mas, considerando a distribuição das classes de solos em todos os biomas e os diferentes usos, a base de dados disponível apresenta lacunas. Seria ter novos dados de regiões onde se tem deficiência de informação.

Cada uso da terra, interage de forma distinta sobre os estoques de carbono. Em solos sob vegetal natural, por exemplo, o C orgânico encontra-se em equilíbrio, ou seja, mantendo seus teores praticamente constantes com o tempo (d'Andréa et al., 2004). Um estudo recente realizado no município de Várzea-PB encontrou maiores teores de carbono orgânico do solo sob Caatinga preservada, enquanto o estoque de carbono decresceu com o incremento da profundidade (Souza et al 2019).

No debate atual sobre as mudanças climáticas, o sistema pastoril tem sido apontado como um dos maiores responsáveis pelos impactos negativos ao meio ambiente, muito por ser o sistema responsável pela substituição aos ambientes naturais (Costa et al., 2009). Segundo os mesmos autores, apesar disso, os estudos são inconclusivos sobre a quantidade de C que é liberada ou mantida nos diversos compartimentos desse novo ambiente, principalmente, em relação ao compartimento solo.

Em solos cultivados uma nova dinâmica é atingida, entretanto, ela varia de acordo com o sistema de manejo empregado (d'Andréia et al., 2004). Sobre a questão, Fracetto et al. (2012) identificaram perdas de 50 % no estoque de carbono no solo após conversão da Caatinga para cultivo de mamona no semiárido baiano. O plantio direto, em comparação ao sistema convencional, apresenta menores perdas totais de nutrientes e matéria orgânica, justamente pela eficiência no controle da erosão (d'Andréia et al., 2004).

Apesar da expectativa do incremento da matéria orgânica do solo em sistemas de plantio direto com elevado aporte de resíduos, é oportuno ressaltar que ele depende também de fatores associados ao clima, com ênfase na temperatura e precipitação (Costa et al., 2008), e a textura e mineralogia do solo (Oliveira et al., 2008). Vale ressaltar ainda, que o fator temperatura nas regiões tropicais, que fica entre 35-40 °C, ilustra uma dinâmica mais rápida do C no ecossistema, além de apontar para uma maior fragilidade do sistema, caso sejam feitas alterações em sua cobertura vegetal (Silva e Mendonça, 2007).

Angelotti et al. (2011) discutindo os impactos das mudanças climáticas na região semiárida, concluíram que a identificação das vulnerabilidades permitem o desenvolvimento de pesquisas que vislumbram maior resiliência da sua população na busca e implementação das medidas de mitigação e adaptação. Segundo LAL (2004), o sequestro de carbono no solo é uma estratégia a curto prazo para amenizar o enriquecimento antropogênico de CO<sub>2</sub> atmosférico enquanto a solução, que passa pela alteração às fontes de combustíveis fósseis, não é atingida e que, além de melhorar a qualidade do solo, é uma prática que não se deve ser ignorada.

### **3.2.1. Estoque de carbono em solos do Semiárido brasileiro**

Com base nos dados dos boletins de solos da Paraíba (SUDENE, 1972) e (AESA, 1978), em que são descritos dezesseis perfis de Luvisolos, sete de Planossolos e oito de Vertissolos, pôde se avaliar o estoque de C e assim, obter informações de referências relacionadas as suas características e ambientes de formação.

Luvissolos - apresentam perfis de raso a pouco profundo, variando de 43 a 67 cm e média de 54 cm, e o estoque de carbono (EC) com variação de 22 a 65 Mg ha<sup>-1</sup> com média de 42 Mg ha<sup>-1</sup>; Luvissolos planossólico e vértico com A moderado e textura argilosa de ambientes sub-úmidos (Floresta caducifólia e Caatinga hipoxerófila) apresentam os mais altos EC; Luvissolos vérticos e Órticos típicos com A fraco textura argilosa em ambiente de caatinga hiperxerófila com valores intermediários de EC, enquanto que os Luvissolos vérticos de textura média os mais baixos EC.

Planossolos – todos os perfis descritos são de Planossolos Nátricos com caráter eutrófico argila de atividade alta, a maioria com A moderado e textura média; estes apresentam perfis pouco profundos, entre 60 a 88 cm, com média de 76 cm, bem como o EC que variou de 28 a 65 Mg ha<sup>-1</sup>, com média de 47 Mg ha<sup>-1</sup>; embora se tenha observado maiores EC em ambientes mais úmidos do Agreste Litorâneo e Borborema (Floresta caducifólia e caatinga hipoxerófila), o valor mais alto encontrado foi descrito em ambiente de caatinga hiperxerófila em áreas elevadas do Cariri a 650 m de altitude, sobre a Borborema, fato que sugere a influência de temperaturas mais baixas (perfil descrito em área agrícola em pousio).

Vertissolos – em relação aos demais solos eles possuem maiores profundidades, de 61 a 118 cm com média de 87 cm e conteúdo de carbono, com variação de 49 a 119 Mg ha<sup>-1</sup> com média de 81 Mg ha<sup>-1</sup>; de modo geral os maiores conteúdos de MO estão relacionados aos solos de ambientes sub-úmidos de Floresta caducifólia e Caatinga hipoxerófila; o solo com maior EC é o único com caracteres ebânico e carbonático os demais são Vertissolos Háplicos Órticos.

### **3.2.2. Fatores que influenciam no estoque de carbono**

Quando a taxa líquida de entrada supera a taxa líquida de saída de carbono orgânico do sistema solo, caracteriza-se o sequestro de carbono pelo solo com redução do CO<sub>2</sub> da atmosfera (Szakács, 2007). Diversos são os fatores que podem alterar o armazenamento de carbono no solo como, por exemplo, a topografia, a classe de solo, a drenagem, a mineralogia, densidade e a textura, além de fatores que vão além das características dos solos, como o tipo de cobertura vegetal, as condições climáticas, com

ênfase na precipitação e temperatura, além do manejo empregado (Ogle et al., 2005; Rufino et al., 2022).

### **3.2.2.1. Clima**

O clima, como um dos fatores de formação do solo, influencia ativamente fornecendo água e energia para os processos de formação e, sendo o carbono orgânico um dos atributos do solo, conseqüentemente, afeta os estoques de carbono através da temperatura, precipitação e a evapotranspiração. De forma geral, a quantidade de carbono no solo é inversamente proporcional a temperatura e à evapotranspiração e diretamente proporcional à precipitação (Bento, 2018).

A respiração do solo consiste em um conjunto de processos, tais como a utilização do carbono da matéria orgânica do solo na respiração pelos microrganismos, da respiração radicular e da macrofauna, e representa o segundo maior fluxo global de carbono entre o ecossistema e a atmosfera. Além disso, a temperatura do solo interfere, já que, a respiração do solo é duplicada com o aumento de 10 °C no solo, principalmente, em solos situados entre 5 e 35 °C (Szakács, 2007).

Szakács (2007), analisando as correlações dos estoques de carbono em Latossolos com produção de cana-de-açúcar em três regimes climáticos no centro-sul do Brasil, identificou uma correlação inversa moderada dos estoques de carbono com a precipitação e a temperatura, ou seja, quanto maior os fatores climáticos, menores os estoques.

### **3.2.2.2. Uso e cobertura do solo**

As alterações no uso do solo estão entre as principais fontes de emissão de carbono antropogênico para a atmosfera terrestre (Filizola et al., 2021). A agricultura associada com mudanças de uso da terra contribui com as emissões de GEE em cerca de 25% das emissões mundiais, sendo de 10 a 14% diretamente da produção agrícola e agropecuária e outros 12 a 17% de mudanças de uso do solo, incluindo o desmatamento. Mas, apesar da parcela importante das emissões agrícolas, um manejo adequado do solo pode reduzir

as emissões e ainda sequestrar parte do CO<sub>2</sub> captado pelas plantas e incorporá-lo ao solo na forma de matéria orgânica (Paustian et al., 2016).

Ao se cultivar e manejar o solo, ocorrem alterações nas entradas e saídas de carbono orgânico na interface solo-atmosfera, em especial, as operações de aração e gradagem que apresentam uma maior oxidação da matéria orgânica, bem como a alteração no regime hídrico, da erosão do solo, das queimadas e das demais práticas agrícolas (Filizola et al., 2021). Sistemas conservacionistas que não revolvem os solos, ou mesmo sistemas com mobilização mínima, utilizando culturas que convertam uma maior quantidade de matéria seca, tendem a aumentar a quantidade de carbono no solo, e ainda mais naqueles com baixos teores de matéria orgânica (Rosa et al., 2011).

Segundo Rosa et al. (2014), a conversão de um sistema natural para uma pastagem pode ter uma importante interferência no destino do carbono estocado no sistema solo. Para os autores, solos sob vegetação natural tendem a preservar o máximo da matéria orgânica, já que o revolvimento do solo é mínimo e o aporte elevado quando comparados com a pastagem, enquanto em áreas agrícolas, submetidas ao plantio convencional, os teores de MOS são reduzidos em face do revolvimento, que proporciona maior ataque dos microrganismos e desestruturação do solo.

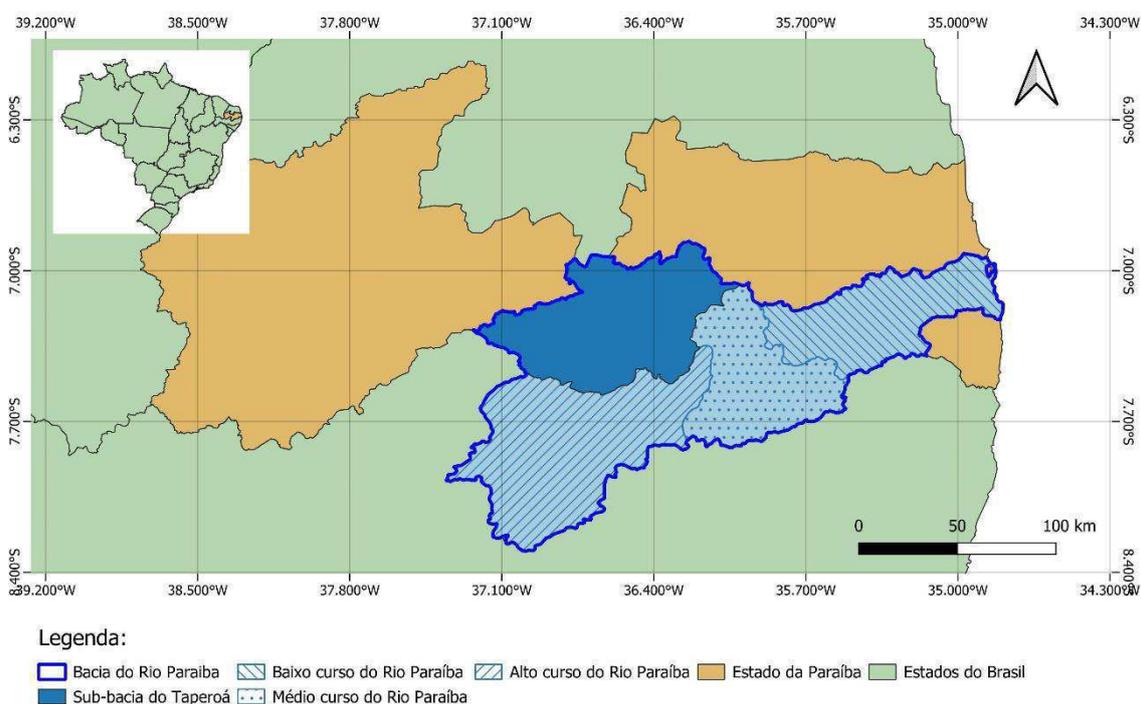
Segnini et al. (2019), analisando estoques de carbono sob diferentes pastagens e em comparação com uma mata na região Sudeste do Brasil, concluíram que as pastagens tropicais possuem capacidade de mitigar as emissões de GEE, atuando como sumidouros de C a longo prazo, armazenando nas camadas de solo abaixo dos 30 cm de profundidade.

Com o intuito de analisar os agregados e os estoques de carbono de um Argissolo sob diferentes práticas de manejo, Vezzani e Mielniczuk (2011), apontam que as práticas de manejo sem revolvimento do solo em consonância com as adições de carbono pelos sistemas de manejo de culturas por 17 anos, recuperaram a agregação e o estoque de carbono para valores próximos às condições originais de campo nativo.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada na parte central do Estado da Paraíba, sobre o Planalto da Borborema, circunscrita entre as latitudes  $6^{\circ} 50' 35''$  a  $8^{\circ} 17' 45''$  S, e longitudes  $35^{\circ} 46' 40''$  a  $37^{\circ} 21' 40''$  W. Compreende as sub-bacias do rio Taperoá e do Alto e Médio curso do rio Paraíba, região que no seu conjunto é chamada de Cariri Paraibano, mas para fins de plotagem, a delimitação será a própria bacia do Rio Paraíba. O relevo predominantemente é suave ondulado com altimetria que varia de 350 a 700 m em pontos mais elevados na linha dos divisores a sudeste, na divisa com o estado de Pernambuco (Figura 1).



**Figura 1** - Bacias do estado da Paraíba com setorização da bacia do Rio Paraíba, Brasil.

## 4.2. Características edafoclimáticas da Bacia do Rio Paraíba

O clima segundo a classificação de Köppen é do tipo BSh – Semiárido quente e seco. As chuvas originadas no Atlântico Equatorial são transportadas pela ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), dada a atuação dos Alísios de Nordeste, de fevereiro a abril. A partir deste período até agosto, época mais fria, ocorrem chuvas em menor volume e intensidade, oriundas da umidade do Atlântico Tropical, transportadas pelos Alísios de Sudeste (Molion & Bernardo, 2002; Ferreira & Mello, 2005). Na área central e mais rebaixada da região a precipitação média anual é de 300 mm, aumentando gradativamente até 700 mm no sentido oeste, dada a atuação dos Alísios facilitada pela disposição frontal da drenagem e da elevação gradual do terreno (Francisco, 2012a; Macêdo, 2020).

A vegetação representativa da área de estudo é do tipo Caatinga, que tem como principal característica o xerofitismo, ou seja, adaptabilidade das espécies às adversidades do clima, que inclui diferentes estratégias de sobrevivência, como: casca espessa, folhas pequenas e cerosas, espinhos, perda da folhagem no período seco, raízes tuberosas, dentre outras. Quanto mais seco é o ambiente mais acentuada são as características xeromorfas da vegetação (Santos et al., 2021).

Dada a estreita relação entre solo, clima e vegetação, os trabalhos de levantamento e classificação de solos no Brasil utilizam a fitofisionomia da paisagem para delimitar ambientes homogêneos em termos de regime hídrico, térmico e de características de solos. Associada a nomenclatura das classes de solo a fase de vegetação indica particularidades edafoclimáticas do ambiente. Para a região semiárida brasileira com temperaturas estáveis e solos férteis, as condições hídricas determinam os aspectos da vegetação, em termos de porte, densidade e fitossociologia das plantas. Do ambiente mais seco para o mais úmido, a vegetação é classificada pelos tipos: caatinga hiperxerófila, caatinga hipoxerófila, floresta caducifólia e floresta subcaducifólia (EMBRAPA, 2018).

Em estudos realizados na região do Cariri Paraibano por Paes-Silva et al. (2003) Barbosa et al. (2007) e Francisco et al. (2012b) identificaram que as espécies mais encontradas foram: a malva (*Sida galheirensis* Ulbr.); macambira (*Bromelia laciniosa* Mart. ex Schult. f.); imburana (*Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett); mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.); xique-xique (*Pilosocereus gounellei* (F.A.C.Weber) Byles &

G.D.Rowley); facheiro (*Pilosocereus pachycladus* F.Ritter); palmatória (*Tacinga palmadora* (Britton & Rose) N.P.Taylor & Stuppy); mofumbo (*Combretum leprosum* Mart.); marmeleiro (*Croton sonderianus* Müll.Arg.); pinhão (*Jatropha mollissima* (Pohl) Baill.); jureminha (*Desmanthus virgatus* (L.) Willd.); jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.); catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul); pereiro (*Aspidosperma pyriforme* Engl.); marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.); e com menor frequência outras espécies nativas da região, como o angico (*Anadenathera macrocarpa* (Benth.) Brenan) e a aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão).

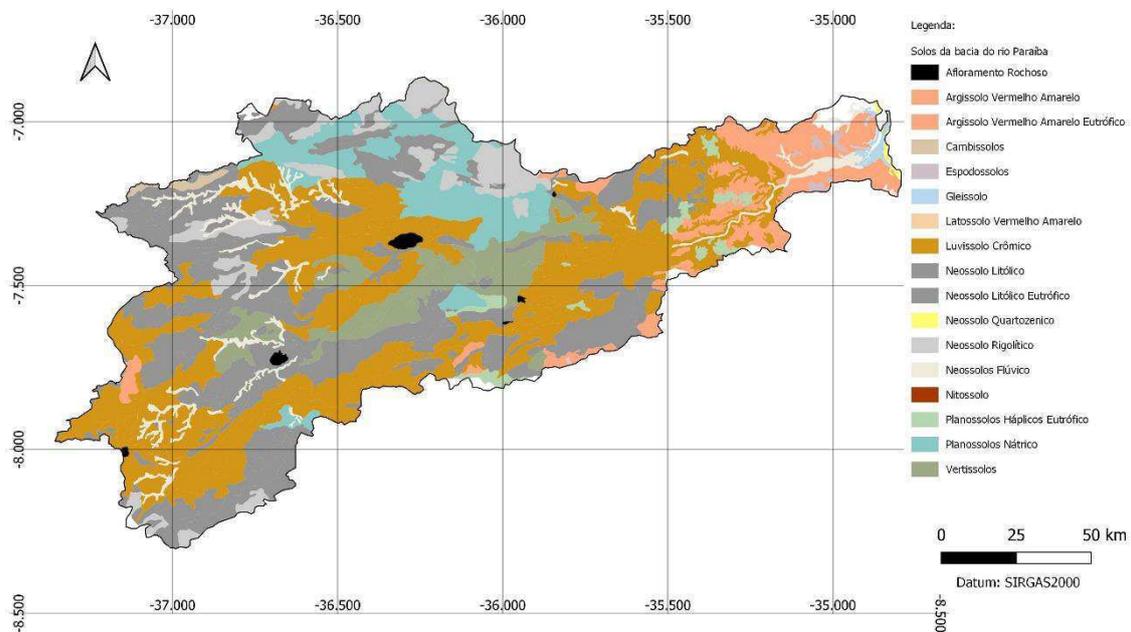
Com base nos dados do mapeamento para o Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (Paraíba, 1978), compilados pela AESA (2006), Macêdo (2020) observou que na bacia hidrográfica do Alto Paraíba predominam Luvisolos Crômicos em relevo suave ondulado e ondulado, ocupando 43,3% e Neossolos Litólicos em relevo ondulado e forte ondulado, ocupando 37,3% da área total da bacia de 6.250 Km<sup>2</sup>.

Já na bacia do rio Taperoá, no contínuo da área do Cariri para nordeste, predominam Planossolos Nátricos sob relevo plano e suave ondulado, equiparando-se em área aos solos acima citados. Esses solos ocupam em grande parte as terras do terço médio das sub-bacias contribuintes da margem esquerda do rio Taperoá e adentram ao Médio Paraíba, na sub-bacia do rio Bodocongó, que drena a cidade de Campina Grande. De leste a oeste, a área de ocorrência estende-se da cidade de Campina Grande a Juazeirinho, acompanhando o trajeto da BR-230 (Paraíba, 1978; Francisco, 2013; Chaves et al., 2015).

Ocupando os terrenos mais baixo da drenagem ocorrem os Vertissolos Háplicos em relevo suave ondulado e ondulado, em uma área expressiva que inicia no rebordo oriental da Borborema em Campina Grande à Barra de Santana na margem do rio Paraíba e se estende nas terras a montante, adentrando na bacia do Alto Paraíba. Em menores proporções estão também no Cariri os Neossolos Regolíticos eutrófico em posições de topo e linha de divisores em relevo plano e suave ondulado, com maior expressão na bacia do rio Taperoá, e os Neossolos Flúvicos, as áreas de várzeas em trechos mais aplainados ao longo da drenagem.

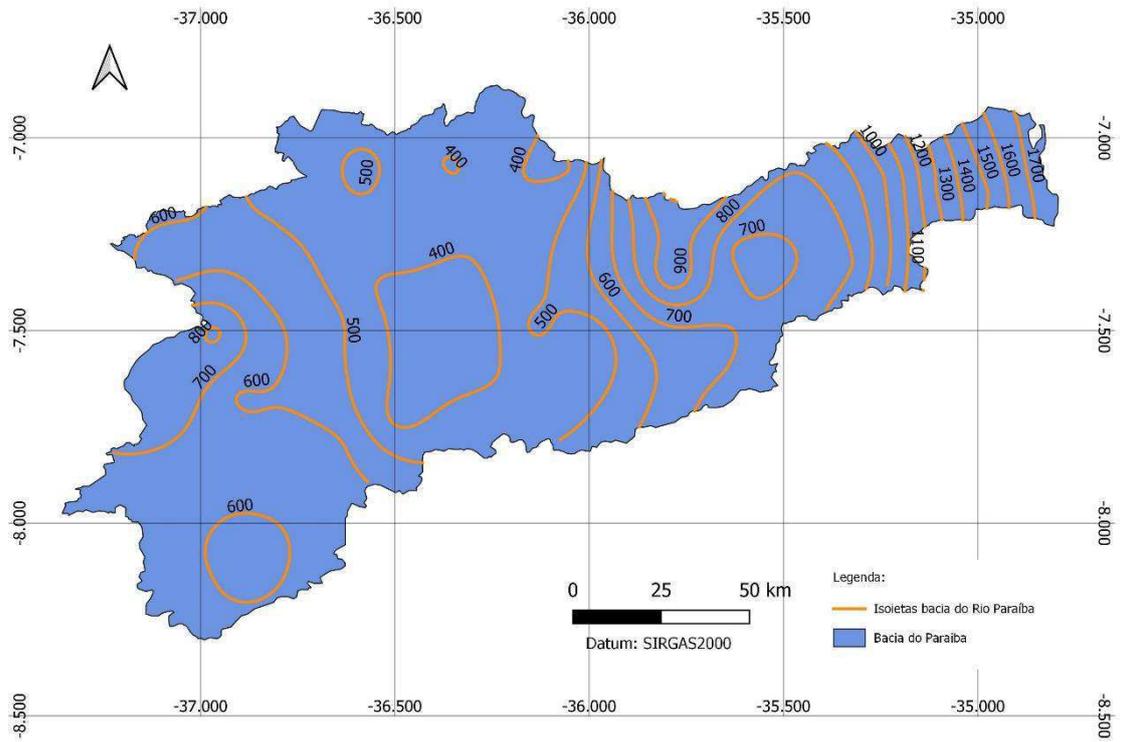
### 4.3. Seleção das áreas de coleta

As classes de solos para estudo foram selecionadas baseadas na representatividade geográfica, diversidade pedológica e interesse agroecológico, além da proximidade de suas ocorrências à sede do trabalho na Universidade Federal em Campina Grande. Com base no mapa do levantamento pedológico do Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (Paraíba, 1978), compilado pela AESA (2006), de acordo com a figura 2, foram selecionados os solos Vertissolo Háptico, Planossolo Nátrico e Luvisolo Crômico.

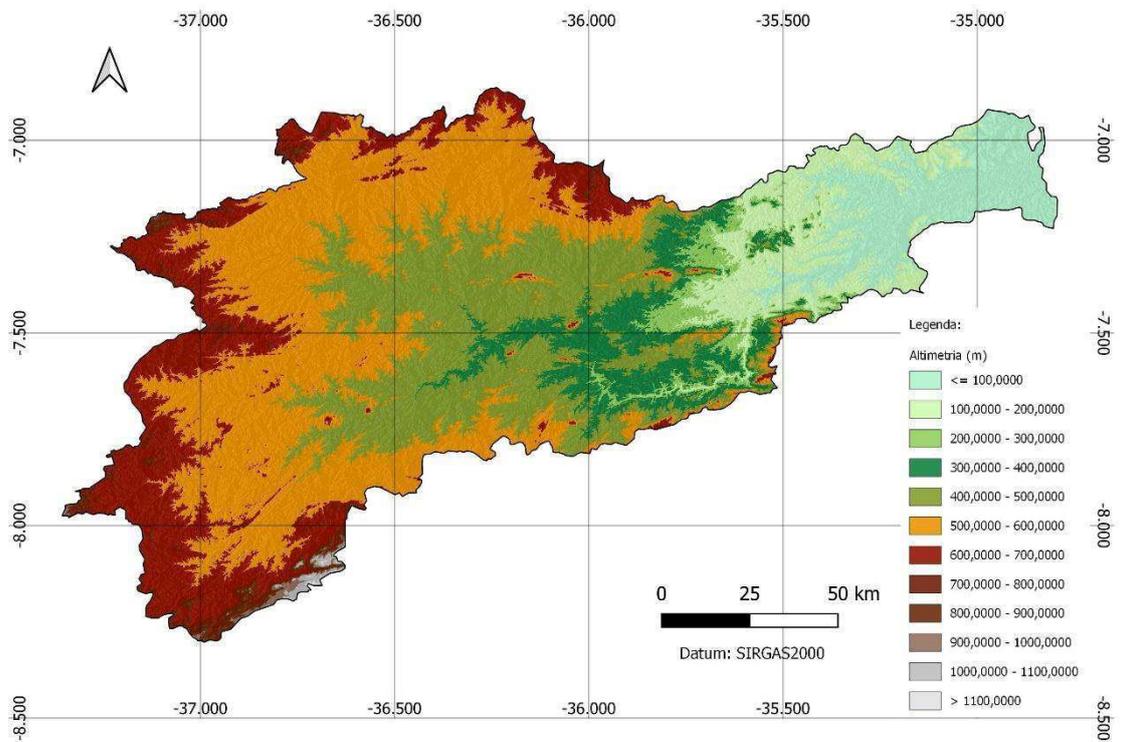


**Figura 2** - Mapa das classes de solo da Bacia do Rio Paraíba.

Para cada classe de solo procurou-se traçar um transecto climático, com base na altimetria, no intuito de obter ambientes diferenciados em precipitação e temperatura, caracterizando diferentes pedoambientes. As áreas em estudo foram caracterizadas climaticamente levando em consideração o Atlas Climatológico do Estado da Paraíba (Varejão-Silva et al., 1984) com base na temperatura média anual. Para a precipitação, foi utilizado o shape de isoietas disponibilizado pela AESA (Figura 3). Já para a altitude, foram adquiridas a partir dos dados SRTM (Figura 4) e confrontados com o Google Earth Pró.



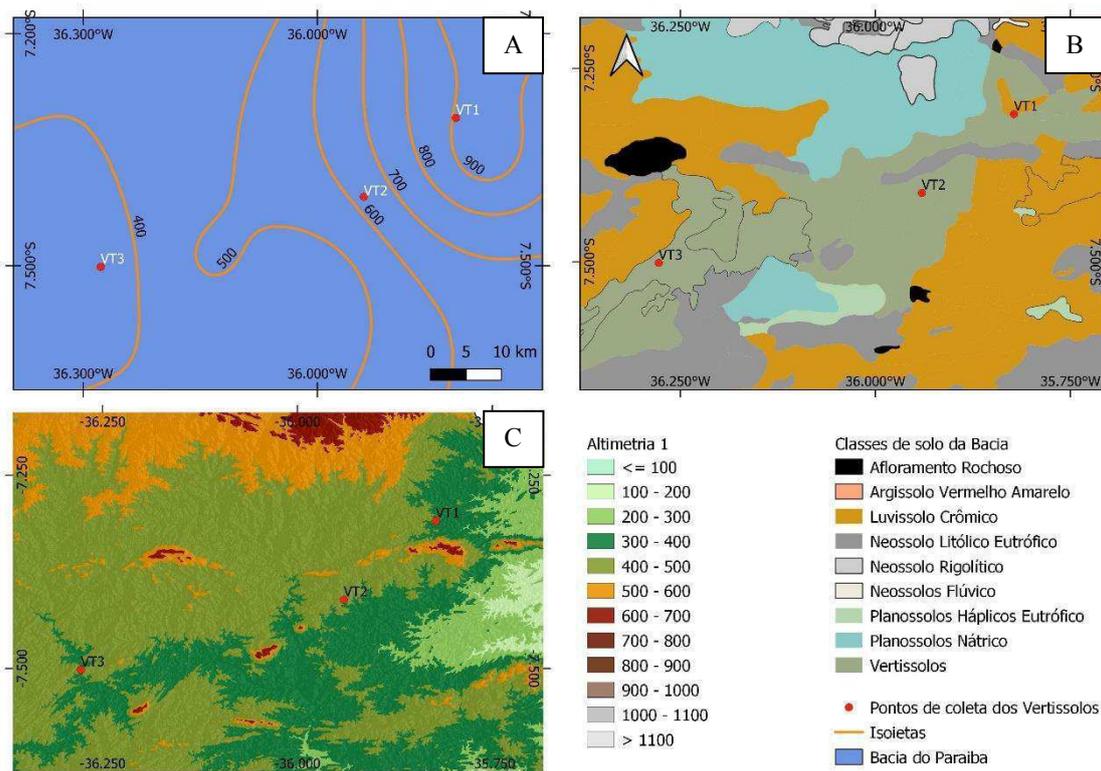
**Figura 3 - Isoietas da bacia do Rio Paraíba.**



**Figura 4 – Altimetria do Rio Paraíba.**

### 4.3.1. Vertissolos

As áreas de Vertissolos selecionadas com base nos critérios e referências estão plotadas na Figura 5.



**Figura 5** - Pontos de coleta dos Vertissolos no mapa de isoietas (A) e classes de solo (B) e altimetria (C).

Com o intuito de avaliar a influência das intensidades de uso do solo nos estoques de carbono, procurou-se selecionar áreas contendo usos comuns e de importância econômica na região, sendo assim foram escolhidas áreas com Mata nativa preservada, áreas para pastagem e áreas de uso agrícola de culturas anuais mais comuns na região. Na tabela 1 encontra-se um resumo das áreas de coleta, suas respectivas coordenadas e códigos de referências do trabalho aqui apresentado, para remeter aos Pedoambientes em questão e demais informações climáticas e ambientais.

**Tabela 1** – Tabela resumo das localizações e características climáticas dos Vertissolos – V\*.

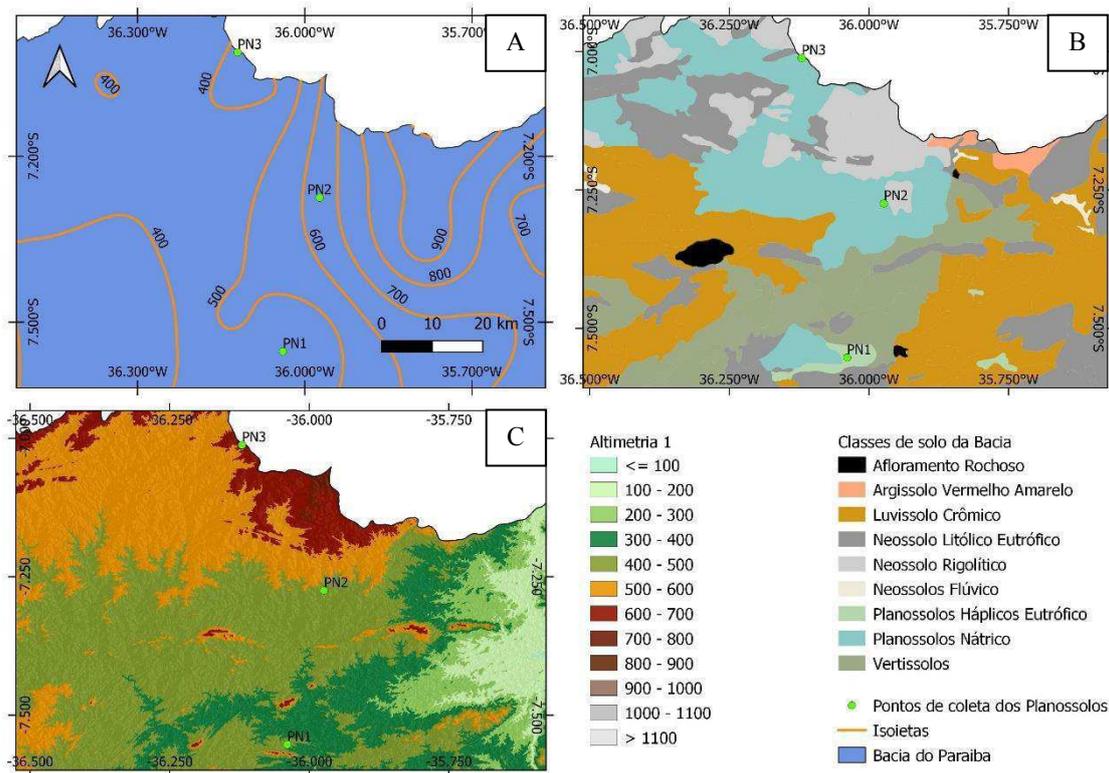
Ponto de coleta	Município /distrito	Intensidade de uso	Coordenadas		Temperatura (°C)			Alt. (m)	Precip. (mm)
			N	E	Min	Med	Max		
V1	Galante	Roçado	-35.816.212.157	-7.312.256.258					
		Pastagem	-35.819.115.173	-7.311.836.339	19,2	23,2	29,0	388	900
		Mata	-35.817.686.993	-7.307.481.666					
V2	Queimadas	Roçado	-35.951.683.910	-7.407.696.378					
		Pastagem	-35.916.112.994	-7.401.366.430	19,5	24,0	29,5	403	600
		Mata	-35.960.769.297	-7.416.762.367					
V3	Cabaceiras	Roçado	-36.218.740.906	-7.412.898.587					
		Pastagem	-36.372.551.095	-7.576.966.828	19,5	24,2	29,5	381	400
		Mata	-36.315.983.878	-7.522.245.863					

\*Sigla de acordo com SiBCS; V1 = Vertissolo de Galante; V2 = Vertissolo de Queimadas; V3 = Vertissolo de Cabaceiras.

Os Vertissolos coletados estão distribuídos entre o alto, médio e baixo cursos do Rio Paraíba no sentido És-nordeste à Oés-sudoeste. No mesmo sentido há um gradiente decrescente de precipitação e um gradiente crescente de temperatura média anual.

#### 4.3.2. Planossolos

As áreas de Planossolos selecionadas com base nos critérios e referências estão plotadas na Figura 6.



**Figura 6** - Pontos de coleta dos Planossolos no mapa de isoietas (A) e classes de solo (B) e altimetria (C).

Com o intuito de se avaliar a influência das intensidades de uso do solo nos estoques de carbono, procurou-se selecionar áreas contendo usos comuns e de importância econômica na região, sendo assim, foram selecionadas áreas com Mata nativa preservada, áreas para pastagem e áreas de utilização agrícola de culturas anuais mais comuns na região. Na tabela 2 encontra-se um resumo das áreas de coleta, suas respectivas coordenadas e códigos de referências usados para remeter aos Pedoambientes em questão e demais informações climáticas e ambientais.

**Tabela 2** - Tabela resumo das localizações e características climáticas dos Planossolos – S\*.

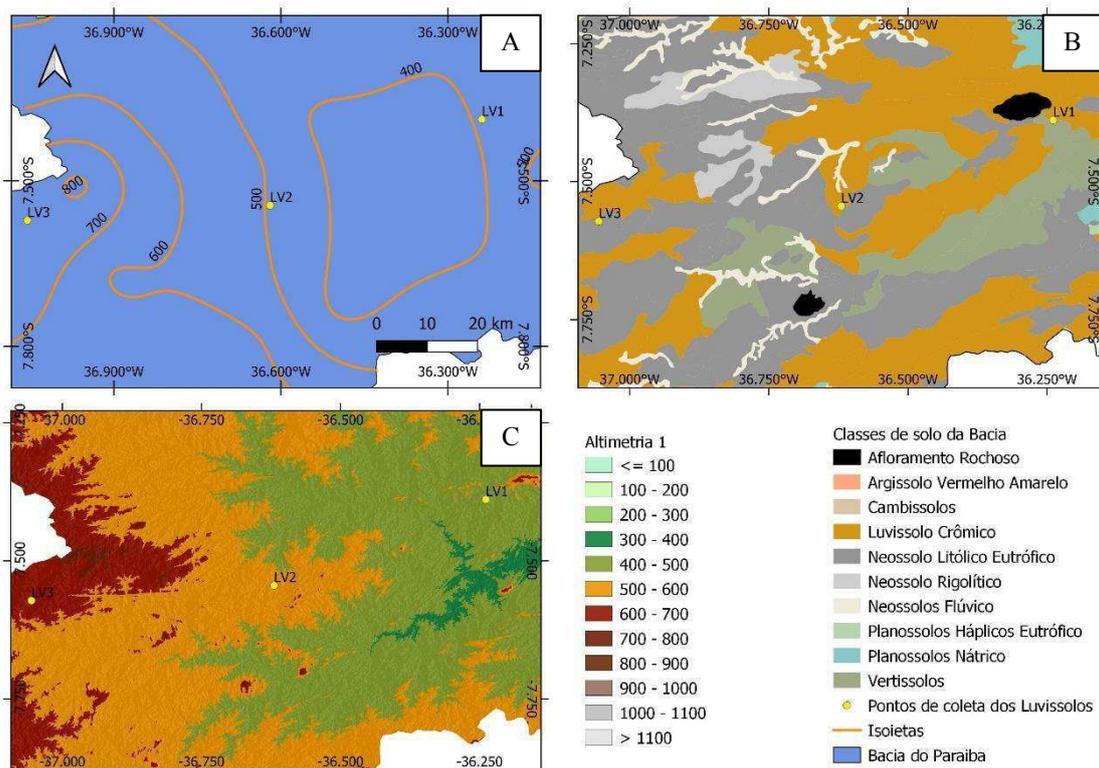
Ponto de coleta	Município	Intensidade de uso	Coordenadas		Temperatura (°C)			Alt. (m)	Precip. (mm)
			N	E	Min	Med	Max		
S1	Barra de Santana	Roçado	-36.039.641.851	-7.546.764.582					
		Pastagem	-36.032.465.030	-7.547.383.808	19,5	24,3	29,5	428	450
		Mata	-36.030.316.124	-7.545.915.671					
S2	Campina Grande	Roçado	-35.963.831.748	-7.270.625.636					
		Pastagem	-35.968.371.788	-7.272.258.683	19,3	23,0	29,0	467	650
		Mata	-35.968.227.594	-7.279.143.742					
S3	Pocinhos	Roçado	-36.123.204.921	-7.006.082.442					
		Pastagem	-36.121.625.803	-7.006.235.026	18,5	22,5	28,5	617	400
		Mata	-36.120.379.591	-7.007.757.523					

\*Sigla de acordo com SiBCS; S1 = Planossolo de Barra de Santana; S2 = Planossolo de Campina Grande; S3 = Planossolo de Pocinhos.

Os Planossolos coletados encontram-se distribuídos entre o médio curso do Rio Paraíba e a sub-bacia do Taperoá, no sentido Sul-Norte. No mesmo sentido há um gradiente crescente da altimetria, decrescente da temperatura e uma variação não linear da precipitação.

#### 4.3.3. Luvisolos

As áreas de Luvisolos selecionadas com base nos critérios e referências supracitados estão plotados na Figura 7.



**Figura 7** - Pontos de coleta dos Luvissoles no mapa de isoietas (A) e classes de solo (B) e altimetria (C).

Para entender a influência das intensidades de uso do solo nos estoques de carbono, procurou-se selecionar áreas contendo usos comuns e de importância econômica na região, por isso, foram selecionadas áreas com Mata nativa preservada, áreas para pastagem e áreas de utilização agrícola de culturas anuais mais comuns na região. Na tabela 3 encontra-se um resumo das áreas de coleta, suas respectivas coordenadas e códigos de referências utilizados no trabalho para se remeter aos Pedoambientes em questão e demais informações climáticas e ambientais.

**Tabela 3** - Tabela resumo das localizações e características climáticas dos Luvisolos – T\*.

Ponto de coleta	Município	Intensidade de uso	Coordenadas		Temperatura (°C)			Alt. (m)	Precip. (mm)
			N	E	Min	Med	Max		
T1	Boa Vista	Roçado	-36.245.630.997	-7.388.817.557					
		Pastagem	-36.238.754.522	-7.394.809.941	19,3	24,0	29,2	470	420
		Mata	-36.236.202.827	-7.393.762.594					
T2	Serra Branca	Roçado	-36.630.781.659	-7.545.824.566					
		Pastagem	-36.631.792.195	-7.542.713.381	19,2	23,5	29,2	511	500
		Mata	-36.626.388.340	-7.553.160.007					
T3	Amparo	Roçado	-37.059.593.710	-7.572.468.473					
		Pastagem	-37.058.494.411	-7.569.561.656	18,5	23,0	28,3	631	750
		Mata	-37.057.120.006	-7.570.503.848					

\*Sigla de acordo com SiBCS; LV1 – Luvisolo de Boa Vista; LV2 = Luvisolo de Serra Branca; LV3 = Luvisolo de Amparo.

Os Luvisolos coletados encontram-se distribuídos entre a sub-bacia do Taperóa e o baixo curso do Rio Paraíba no sentido És-nordeste à Oés-sudoeste. Em que no mesmo sentido há um gradiente crescente de altitude e de precipitação, bem como um gradiente decrescente de temperatura média anual.

#### 4.4. Coleta e amostragem

Em cada área foram abertos perfis de aproximadamente 1,2 m de comprimento por 0,8 m de largura e uma profundidade variável de acordo com a profundidade efetiva, ou seja, até alcançar a rocha ou camada R (Figura 27, Anexo III). A partir dos perfis, os solos foram classificados seguindo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), anotando as principais características e subdividindo-os em horizontes diagnósticos. Para cada horizonte, foram coletadas amostras deformadas para realização de análises. Além disso, foram igualmente coletados mais quatro pontos aleatórios, com suas respectivas camadas, dentro de 50 metros de raio do perfil principal, objetivando atender ao princípio da repetição (Figura 25, Anexo III).

As amostras foram levadas para o Laboratório de Salinidade e Irrigação – LIS, da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, onde foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm de malha para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

Paralelamente, com o intuito de estimar a densidade dos solos, foram coletadas amostras indeformadas por meio da técnica do anel volumétrico, coletando três anéis para cada horizonte diagnóstico (Figuras 24 e 25, Anexo III). Foram utilizados anéis de ferro com 5,17 cm de altura e 4,81 cm de diâmetro, totalizando um volume de 94,01 cm<sup>3</sup>. Posteriormente, levados para estufa de ar forçado com temperatura de 65° C por 48h ou até atingirem peso constante. Logo após, foram pesados e estimada a densidade do solo com base na equação abaixo.

$$D_s = \frac{M_s}{v} \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo:  $D_s$  = densidade do solo, em Kg m<sup>-3</sup>;  $M_s$  = Massa do solo seco, Kg;  $v$  = volume do anel, cm<sup>3</sup>.

#### **4.5. Análises no laboratório**

As análises químicas através de metodologias propostas por Richards (1954) e por Teixeira et al. (2017) no Laboratório de Irrigação e Salinidade – LIS, da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, para a obtenção de pH, condutividade elétrica, fósforo, hidrogênio, alumínio, sódio, potássio, cálcio, magnésio, soma de bases, CTC efetiva, saturação de bases e saturação de alumínio para os Vertissolos, Planossolos e Luvisolos, apresentados nas tabelas 20, 21 e 22 (Anexo I), respectivamente.

O carbono orgânico foi determinado por oxidação com auxílio de calor externo com dicromato de potássio e titulado com sulfato ferroso amoniacal conforme Teixeira et al. (2017).

#### 4.6. Cálculo do carbono do solo

Para o cálculo do estoque de carbono de um solo, foi utilizada a equação 2 para obtenção do estoque por camada. Depois foram somados os estoques de carbono de todas as camadas do perfil para obtenção do estoque de carbono total (equação 3).

$$Est C = (CO \times Ds \times e)/10 \quad Eq. 2$$

Sendo: Est C = estoque de carbono orgânico na camada ( $Mg \text{ ha}^{-1}$ ); CO = teor de carbono orgânico total na camada ( $g.kg^{-1}$ ); Ds = densidade do solo na camada ( $kg.dm^{-3}$ ); e = espessura da camada considerada (cm).

$$C_{Total} = Est C_a + Est C_b + \dots Est C_n \quad Eq. 3$$

Onde:  $C_{total}$  = Carbono orgânico total do perfil estudado ( $Mg \text{ ha}^{-1}$ ); Est  $C_n$  = estoque de carbono orgânico na enésima camada ( $Mg \text{ ha}^{-1}$ ).

#### 4.7. Variáveis analisadas

Como parâmetros de avaliação e análise foram usadas as variáveis densidade do solo (Ds) e concentração de carbono orgânico ( $g.kg^{-1}$ ) obtidas em laboratório, estoque de carbono por horizonte (Equação 2), estoque de carbono total (Equação 3), estoque de carbono acumulado até 40 cm de profundidade, além dos dados resultantes das análises químicas dos solos, profundidade do solo, altitude e dados climáticos (precipitação e temperatura média anual).

Para fins de comparação, foram calculados os estoques de carbono de diversos perfis do estado da Paraíba para as classes de solo dos Vertissolos, Planossolos e Luvisolos, através dos dados contidos nos boletins de solo do Estado da Paraíba (SUDENE, 1972; AESA, 1978). Os resultados foram transformados em tabela e encontram-se no Anexo II.

#### **4.8. Análise estatística**

##### **4.8.1. Análise do estoque de carbono orgânico total**

Os resultados de estoque de carbono total foram submetidos a análise de variância, comparando-se por meio do teste de médias em esquema fatorial, os três ambientes climáticos e as três intensidades de uso (Tukey) em nível de 5% de probabilidade, com auxílio do software estatístico SISVAR versão 5.2 (Ferreira, 2019). Para efeitos de normalidade, foi feita transformação para atender os pressupostos da Anova.

##### **4.8.2. Análise por horizonte**

Para as variáveis concentração de carbono, espessura do horizonte, densidade do solo e estoque de carbono orgânico por horizonte foram elaboradas tabelas, com auxílio do software Microsoft Office Excel para análise descritiva dos resultados.

##### **4.8.3. Análise dos estoques de carbono até os 40 cm de profundidade**

Para uma análise que levasse em consideração as faixas de profundidade com valores fixos entre os tratamentos, para fins de comparação, foram isoladas e calculadas de 10 em 10 cm até os 40 cm de profundidade. Logo após, foram somadas as faixas para se obter os estoques acumulados até de 0 a 10, 0 a 20, 0 a 30 e 0 a 40 cm.

Os resultados de estoque de carbono acumulados foram submetidos a análise de variância, comparando-se por meio do teste de médias em esquema fatorial os três ambientes climáticos e as três intensidades de uso para cada faixa acumulada independente, sem comparar as faixas do mesmo perfil em profundidade, pelo Tukey em nível de 5% de probabilidade, com auxílio do software estatístico SISVAR versão 5.2 (Ferreira, 2019). Para efeitos de normalidade foi feita transformação para atender os pressupostos da Anova.

#### **4.8.4. Análise de componentes principais**

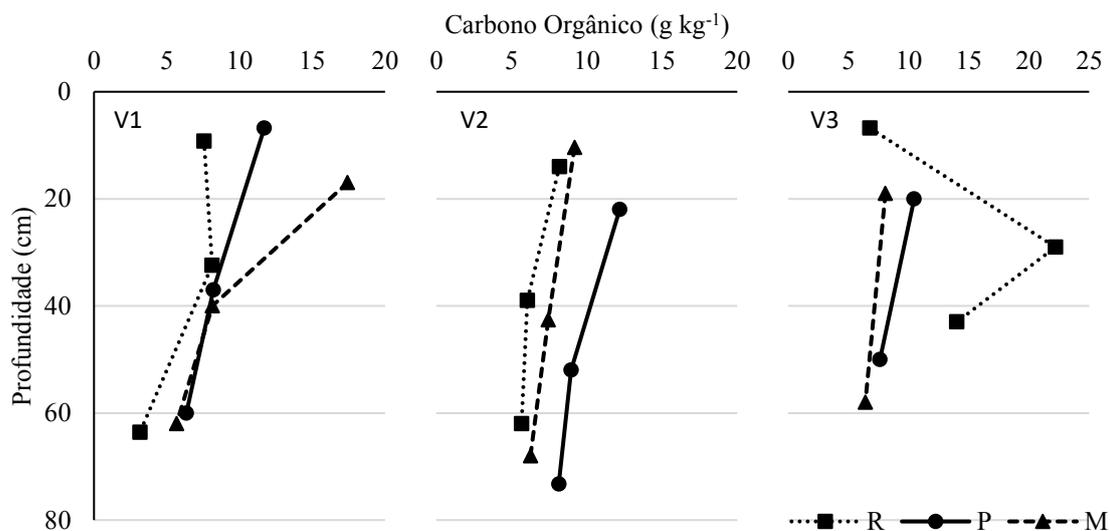
A correlação não paramétrica de Spearman foi aplicada para testar a dependência univariada entre o COT e as demais variáveis resposta. Além disso, foi aplicado Análise de Componentes Principais (ACP) para testar a relação entre todas as variáveis respostas e caracterizar a variância do conjunto de dados com base em todas as variáveis simultaneamente. Para selecionar as componentes principais (CP), utilizou-se o critério de Jolliffe (2002) e variância acumulada mínima de 60%. As variáveis participantes em cada CP foram determinadas com base na correlação do autovetor com o componente em questão, admitindo-se correlação  $\geq \pm 0.6$ , de acordo com critérios estabelecidos por Wairegi e Van Asten (2011). Para otimização do agrupamento, o pacote ClusterSim. Todas as análises foram auxiliadas pelo software RStudio (Core Team, 2018).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Avaliação dos estoques de carbono orgânico em Vertissolos sob diferentes tipos de uso e variados pedoambientes

#### 5.1.1. Análise descritiva

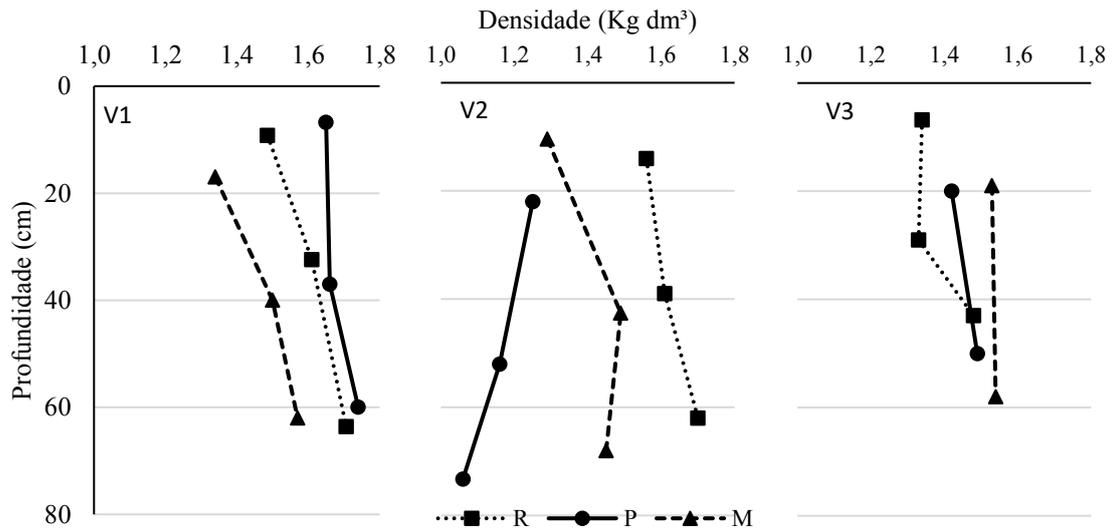
Analisando a concentração de Carbono Orgânico nos Vertissolos (Figura 8), observa-se que há uma tendência geral de redução da concentração de acordo com a profundidade das camadas, fenômeno verificado também por Costa et al. (2009) ao analisarem e compararem estatisticamente os teores de carbono orgânico de solos de pastagem e mata natural, no Bioma Mata Atlântica no sul da Bahia.



**Figura 8** - Concentração de Carbono Orgânico (g kg<sup>-1</sup>) em profundidade (cm) entre os diferentes Usos do Solo para cada Pedoambiente.

Ao contrário do que ocorre com a concentração do Carbono Orgânico, a densidade dos Vertissolos aumenta de acordo com a profundidade das camadas, ou seja, quanto mais profunda, mais densa (Figura 9). A única exceção fica por conta da pastagem de Queimadas (V2) que apresenta as camadas superiores mais densas, muito provavelmente,

pelo pastoreio excessivo na área, o que proporciona uma maior compactação do solo na superfície, como foi observado também por Denardin et al. (2014) que, analisando estoques de carbono sob diferentes formações florestais, identificaram que a densidade do solo decrescia com a profundidade em todas as áreas estudadas.



**Figura 9** - Densidade do solo ( $\text{kg dm}^3$ ) em profundidade (cm) entre os diferentes usos para cada Pedoambiente.

Entre os diferentes tipos de uso, não teve um padrão, levando em consideração que cada Pedoambiente apresentou uma distribuição distinta, dados divergentes dos de Barros (2014) que, comparando vegetação nativa, vegetação raleada, pastagem, agricultura anual e perene em um Vertissolo no Sertão Paraibano, notou a mata nativa como a área menos compactada em todas as profundidades estudadas.

Troian et al. (2020), comparando as densidades do solo em diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho no Rio Grande do Sul, obteve valores semelhantes entre os solos manejados na camada superficial, mas diferenciando da Mata que obteve valores abaixo, resultados contrários aos encontrados nessa pesquisa pois, em alguns casos, a densidade da Mata até mesmo supera as demais densidades superficiais dos diferentes usos do solo, como nos Vertissolos de Cabaceiras – V3.

Para os Estoques de Carbono por horizontes (Tabela 4), as camadas subsuperficiais dos Vertissolos apresentam maiores quantidades em  $\text{Mg ha}^{-1}$ . Parte dessa superioridade está atrelada a espessura da camada C1 e a própria característica dos Vertissolos de promover, no período seco, rachões na superfície favorecendo a movimentação da massa de solo entre horizontes, exceto na Mata de Galante (V1), em que o aporte de material orgânico foi maior, superando o movimento de partículas para o horizonte logo abaixo.

**Tabela 4** - Estoque de Carbono por horizonte de solo nos diferentes Usos do Solo para cada Pedoambiente.

Solo/região	Roçado			Pastagem			Mata		
	HD	Esp (cm)	Est C ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	HD	Esp (cm)	Est C ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	HD	Esp (cm)	Est C ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )
V1	AP	9,2	10,09	AP	6,8	13,20	A1	17,0	39,60
	C1	23,2	27,56	C1	30,2	40,08	C1	23,0	27,27
	C2	31,2	14,49	C2	23,0	24,92	C2	22,0	19,56
V2	A1	14,0	17,72	A1	22,0	33,62	A1	10,4	12,37
	C1	25,0	24,43	C1	30,0	31,11	C1	32,2	35,64
	C2	23,0	20,24	C2	21,3	15,89	C2	25,4	24,36
V3	AP	6,8	12,61	A1	20,0	29,71	A1	19,0	23,63
	C1	22,2	28,06	C1	30,0	34,06	C1	39,0	38,00
	C2	14,0	14,02	-	-	-	-	-	-

HD = horizonte diagnóstico; Esp = espessura da camada; Est C = estoque de carbono. V1 = Vertissolo de Galante; V2 = Vertissolo de Queimadas; V3 = Vertissolo de Cabaceiras.

Fazendo um paralelo com o Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (Paraíba, 1978), o qual realizou a caracterização de diversos perfis de solos no estado, é possível comparar os resultados encontrados com os da pesquisa apresentada. Em que, dos oito perfis de Vertissolos encontrados no zoneamento, seis deles (Tabelas 24, 26, 27, 28, 29 e 30, Anexo II) apresentam um estoque de carbono maior nas camadas C1 do que os das camadas superficiais, A1/AP. O que pode estar atrelado a concentração de carbono média e a espessura do horizonte diagnóstico maior, corroborando com os encontrados nessa pesquisa. Diferente de Barros (2014) ao concluir que, os estoques de carbono de um Vertissolo no Sertão Paraibano reduziram com a profundidade.

### 5.1.2. Estoque de carbono orgânico

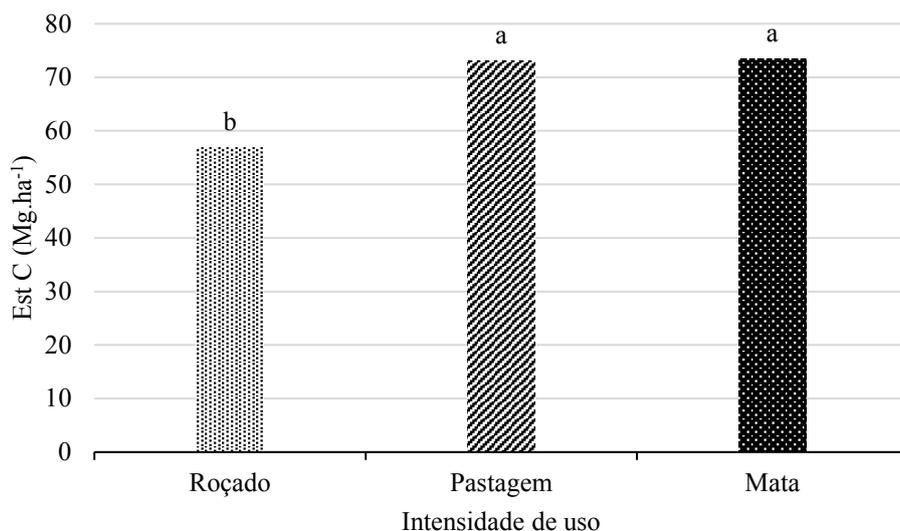
Os tipos de uso apresentaram efeitos significativos sobre os estoques de carbono total (ECT) dos Vertissolos, ao contrário dos pedoambientes (Tabela 5). A ausência de efeitos significativos nos diferentes ambientes de coleta também foi encontrada por Zinn et al. (2005) ao realizarem análise dos estoques de carbono de diferentes ecorregiões do Brasil e concluíram que, as mudanças nos estoques foram inconclusivas devido por causa da alta variabilidade dos dados e o pequeno número de observações.

**Tabela 5** - Resumo da análise de variância para estoque de Carbono Orgânico Total em diferentes pedoambientes e tipos de uso dos Vertissolos.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio
Pedoambiente (A)	2	702,971 ns
Uso do solo (B)	2	1.343,722 *
A x B	4	257,086 ns
Erro	36	295,334
CV (%)		25,33

\* e ns - significativo pelo teste F à 5 % e não significativo, respectivamente.

Analisando os Estoques de Carbono Total dos Vertissolos sob diferentes tipos de uso (Figura 10), percebe-se que as áreas sob mata nativa e pastagem se mostraram superiores às áreas de roçado, mas não diferiram estatisticamente entre si. Segundo Medeiros (2019), dependendo do tempo de conversão da mata para a pastagem, há uma tendência de recuperação dos estoques. Os resultados aqui expostos também corroboram com os encontrados por Costa et al. (2009) que avaliando os estoques de carbono sob pastos degradados e produtivos em comparação com uma mata natural na Bahia, concluíram que os estoques não diferiram estatisticamente, mesmo com diferentes idades de conversão e nas diferentes profundidades.



**Figura 10** - Estoques de Carbono Orgânico Total em função dos diferentes tipos de uso dos Vertissolos.

A Mata e a Pastagem com Est C de 73,48 e 73,14 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo aproximadamente 28 % maior que os 56,92 Mg ha<sup>-1</sup> das áreas com roçado. Segundo Segnini et al. (2019), pastagens quando bem manejadas podem aumentar seus estoques de carbono, enquanto pastagens mal manejadas tendem a perder C, quando comparadas com a vegetação original.

É importante considerar que a dinâmica de ocupação, uso e manejo da terra da região semiárida é diferente das demais regiões e se modificam com a ocorrência de secas mais intensas e frequentes e pela falta de competitividade da atividade agrícola. Com o êxodo rural muitas áreas agrícolas estão sendo ocupada com o pastejo; tradicionalmente, as áreas agrícolas não são fertilizadas e após a colheita viram áreas de pastejo. Comumente as áreas de pastejo são áreas com vegetação de caatinga em diferentes graus de degradação e o tratamento de “mata” foi a área circunvizinha a da coleta com o mesmo solo e com maior grau de conservação da vegetação nativa.

Na área da bacia hidrográfica do rio Taperoá (5.686,4 Km<sup>2</sup>), que faz parte da região do Cariri Paraibano, 59,2 % da vegetação apresenta um índice alto e muito alto de degradação (Chaves et al. 2015), o que corrobora com a dificuldade de obtenção de áreas bem conservadas e com o mesmo solo, representativas do tratamento “mata”, em cada ambiente pedoclimático.

### 5.1.3. Análise de Componentes Principais

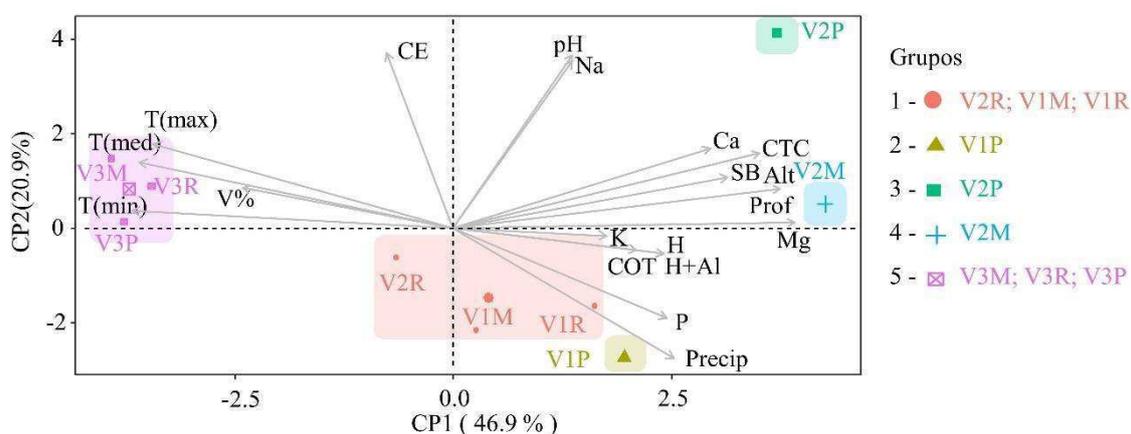
Analisando os autovetores para os Vertissolos (Tabela 6), observa-se que o primeiro componente principal – CP1 explica 10 e o CP2 explica 4 das 20 variáveis analisadas e, conjuntamente, explicam 67,7 % da variância acumulada.

**Tabela 6** - Autovetores dos dois primeiros componentes principais de variáveis químicas e pedoambientais em áreas de Vertissolos.

Variáveis	V	
	CP1	CP2
pH	0.111	<b>0.447</b>
Condutividade elétrica (CE)	-0.061	<b>0.451</b>
P	0.198	-0.233
Al <sup>3+</sup>	---	---
H	0.195	-0.066
H+Al	0.195	-0.066
Na <sup>+</sup>	0.111	<b>0.430</b>
K <sup>+</sup>	0.142	-0.020
Ca <sup>2+</sup>	<b>0.238</b>	0.206
Mg <sup>2+</sup>	<b>0.317</b>	0.013
SB	<b>0.284</b>	0.193
CTC	<b>0.284</b>	0.193
V%	-0.195	0.103
COT	0.170	-0.056
Temperatura (média)	<b>-0.291</b>	0.170
Temperatura (máxima)	<b>-0.278</b>	0.217
Temperatura (mínima)	<b>-0.298</b>	0.046
Altitude	<b>0.255</b>	0.131
Precipitação	<b>0.205</b>	<b>-0.336</b>
Profundidade do solo	<b>0.304</b>	0.101
Variância	8.912	3.962
Variância acumulada (%)	46.904	67.755

Autovetor em negrito indica que a variável participa do componente em questão (correlação  $\geq \pm 0.6$ ), determinado de acordo com Wairegi e van Asten (2011).

O primeiro eixo da ACP para os Vertissolos (Figura 11), explica 46,9 % da variabilidade dos dados com influência do Magnésio ( $Mg^{2+}$ ), profundidade do solo (Prof), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), altitude (Alt), cálcio ( $Ca^{2+}$ ) e precipitação, nessa ordem, com autovetores positivos e as temperaturas médias (T-me), máximas (T-ma) e mínimas (T-mi), com autovetores negativos. No segundo eixo, que explica 20,9 % da variabilidade dos dados para os Vertissolos, fica evidenciado a relação antagônica da precipitação, presente abaixo do eixo, com o potencial hidrogeniônico (pH), concentração de sódio ( $Na^+$ ) e a condutividade elétrica (CE), posicionados acima do eixo, ou seja, quanto maior a precipitação, menores os valores de sódio, pH e Ce, pois a água das chuvas favorece a lixiviação dos sais na zona radicular. Essa relação é confirmada por Resende et al. (2014) que, objetivando analisar a sazonalidade da salinidade do solo no perímetro irrigado de Califórnia-CE, identificaram a lavagem dos sais após o elevado índice pluviométrico.



**Figura 11** - Biplot com base nos valores das variáveis e pontuação para os tratamentos dos dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) dos Vertissolos.

Os Grupos 1 e 2 se mantiveram abaixo do segundo eixo, autovetores negativos, por apresentarem pH,  $Na^+$  e CE menores e uma maior precipitação (Figura 11). Os Grupos 3 (V2 P) e 4 (V2 M) encontram-se à direita do primeiro eixo por possuírem maior concentração de bases trocáveis associadas a maior profundidade do solo, sendo o Grupo 3 localizado acima do Grupo 4 pelo maior pH e CE, presentes no segundo eixo. O Grupo 5, composto pelos Vertissolos de Cabaceiras (V3) nas três intensidades de uso – roçado,

pastagem e mata – permaneceram a esquerda do CP1 por possuírem as maiores temperaturas e menores concentrações de cátions e, conseqüentemente, da SB e CTC, que ficam do lado direito do primeiro eixo.

#### 5.1.4. Estoque de carbono orgânico em profundidade

Quase todos os Estoques de Carbono Orgânicos apresentaram resultados significativos para os efeitos combinados de 0 a 10, de 0 a 20 e 0 a 30 cm de profundidade, com exceção do estoque acumulado de 0 a 40 cm sem valores expressivos para nenhuma variável (Tabela 7).

**Tabela 7** – Resumo da análise de variância para os Estoques de Carbono acumulado de 10 à 40 cm de profundidade dos Vertissolos.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio			
		0 - 10	0 - 20	0 - 30	0 - 40
Pedoambiente (A)	2	62,886 **	196,550 *	262,303 ns	314,957 ns
Intensidade de uso (B)	2	21,659 ns	95,280 ns	146,085 ns	287,731 ns
A x B	4	93,927 **	233,589 **	288,066 *	323,198 ns
Erro	36	11,123	47,429	95,313	151,656
CV (%)		22,15	23,89	24,33	24,28

\*\* , \* , ns - significativo pelo teste F à 1 %, 5 % e não significativo, respectivamente.

Os Estoques de Carbono Orgânico nos primeiros 10 e 30 cm de profundidade (Tabela 8) tiveram superioridade estatística para a Mata em relação à Pastagem, que por sua vez mostrou-se superior ao Roçado no Pedoambiente dos Vertissolos de Galante (VT1). No entanto, na profundidade 0 a 20 cm não houve uma grande diferença entre Roçado e Pastagem, que por sua vez, foram inferiores em relação a Mata.

**Tabela 8** - Estoques de Carbono Orgânico nas profundidades de 0 a 10, 0 a 20 e 0 a 30 cm em função das intensidades de uso e Pedoambientes dos Vertissolos.

Profundidade	Pedoambiente	Intensidade de uso					
		Roçado		Pastagem		Mata	
Est C (Mg ha <sup>-1</sup> )							
0 a 10 cm	V1	11,66	C a	16,88	B a	23,34	A a
	V2	12,75	A a	15,23	A a	11,84	A b
	V3	16,61	A a	14,86	A a	12,35	A b
Est C (Mg ha <sup>-1</sup> )							
0 a 20 cm	V1	24,69	B a	30,49	B a	43,17	A a
	V2	23,81	A a	30,36	A a	22,88	A b
	V3	29,26	A a	29,71	A a	25,08	A b
Est C (Mg ha <sup>-1</sup> )							
0 a 30 cm	V1	34,60	C a	44,11	B a	55,37	A a
	V2	33,53	A a	41,99	A a	33,95	A b
	V3	41,57	A a	41,07	A a	34,94	A b

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5 % de probabilidade. V1 = Vertissolo de Galante; V2 = Vertissolo de Queimadas; V3 = Vertissolo de Cabaceiras.

Paralelamente, o estoque de carbono dos primeiros 10 cm de profundidade da Mata do VT1 mostrou-se superior estatisticamente aos demais pedoambientes e essa relação se repetiu nas demais profundidades de 0 a 20 e de 0 a 30 cm. Corroborando com Assad et al. (2013), em sua análise sobre os estoques de carbono de 17 locais pareados no território brasileiro comparando mata nativa, pastagem e áreas agrícolas, como resultado identificaram uma redução estatisticamente significativa nos estoques de 0 a 10 e de 0 a 30 cm de profundidade, mas, sem um grande efeito nos estoques de 0 a 60 cm. No entanto, os estoques de carbono no Roçado e na Pastagem não diferiram em relação aos pedoambientes nas 3 profundidades.

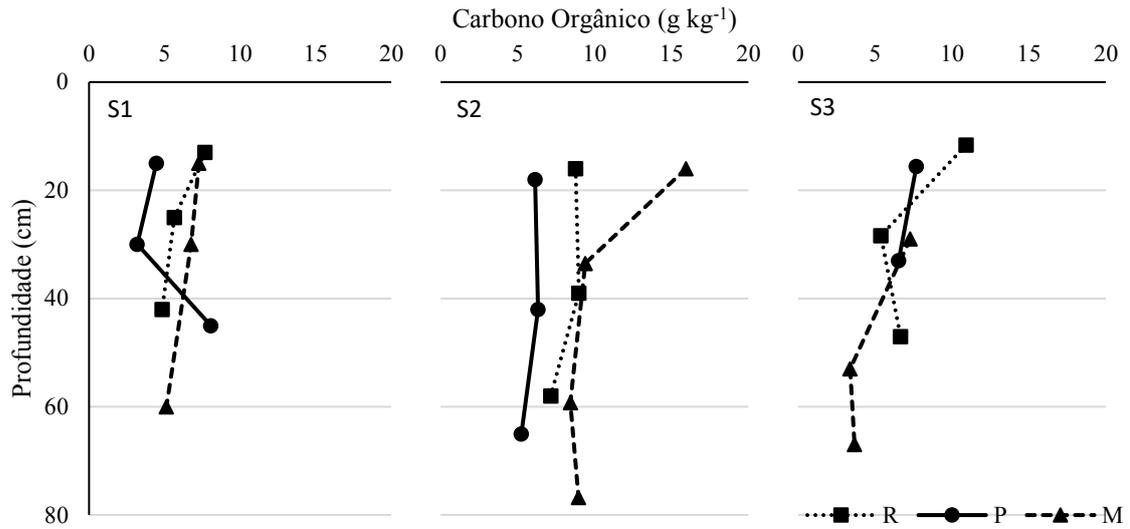
Ao considerar os primeiros 40 cm de profundidade, nota-se que as intensidades de uso e os pedoambientes passaram a não afetar nos Estoques de Carbono Orgânico acumulados, ou seja, a menor concentração de carbono nas camadas inferiores diluída com as demais camadas faz com que as variáveis, que antes influenciavam nos estoques de forma considerável, passem a não surtir efeitos significativos. Resultado semelhante ao de Zinn et al. (2005) que, analisando 37 pontos de coleta em todo o Brasil com o

objetivo de estimar os estoques de carbono orgânico em função das intensidades de uso, tipo de solo e ecorregiões para camadas de 0 a 20 cm e 0 a 40 cm de profundidade, identificaram efeito significativo para manejos com intensidade de uso intensivo na camada superficial (0 a 20 cm), mas sem o mesmo efeito na camada de 0 a 40 cm.

## **5.2. Avaliação dos estoques de carbono orgânico em Planossolos sob diferentes tipos de uso e variados pedoambientes**

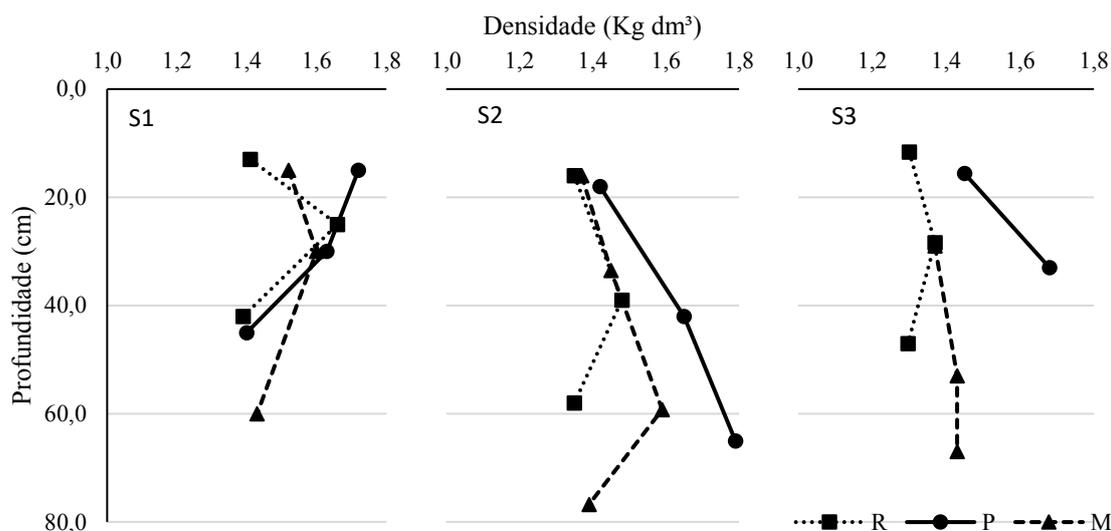
### **5.2.1. Análise descritiva**

Exceto pela Pastagem do Planossolo de Barra de Santana – S1, a concentração de Carbono Orgânico apresentou o mesmo padrão de redução da concentração ao longo do perfil (Figura 12). A camada superficial sob Mata nativa do Planossolo de Campina Grande – S2, teve a maior concentração de Carbono Orgânico de todas as Intensidades de Uso do solo e em todas as profundidades estudadas, com um valor de  $15,94 \text{ g kg}^{-1}$ . O resultado pode estar associado ao grande aporte de material orgânico sucedido pela Mata, na forma de serrapilheira, além de ser a região dos Planossolos com maior precipitação (Tabela 2) que, de acordo com Antoneli e Francisquini (2015), proporciona efeito direto na disponibilidade de serrapilheira.



**Figura 12** - Concentração de Carbono Orgânico (g kg<sup>-1</sup>) em profundidade (cm) entre as diferentes intensidades de uso para cada Pedoambiente.

Nos Planossolos, pelas características intrínsecas, temos uma camada arenosa superficial, uma camada intermediária mais compactada, como pode-se observar nas densidades (Figura 13), sendo o B textural, responsável pela transição abrupta de texturas com a camada subsequente. Comparando a densidade do solo entre as intensidades de uso, a pastagem obteve valores mais altos, traduzidos em um solo mais compactado do que a Mata nativa e as áreas de Roçado, que provavelmente, tenha revolvimento superficial.



**Figura 13** - Densidade do solo ( $\text{kg dm}^3$ ) em profundidade (cm) entre as diferentes intensidades de uso para cada Pedoambiente dos Planossolos.

Para os Estoques de Carbono (Tabela 9), o S1 e o S3 com menores estoques nas camadas intermediárias, advindas de uma camada com concentração de carbono orgânico menor e uma espessura igual ou muito próxima da camada superficial, fazendo com que o Estoque de Carbono do horizonte intermediário seja menor que a superficial. Essa tendência também é verificada nos perfis descritos no Zoneamento Agropecuário (Tabelas 31 a 37, Anexo II). Os resultados se assemelham aos de Felix (2016) que, estudando dois Planossolos em um gradiente climático na Paraíba, encontrou um estoque de carbono orgânico na camada “E” de  $3,54 \text{ Mg ha}^{-1}$ , menor que a camada superficial – AP com  $4,84 \text{ Mg ha}^{-1}$ , na região quente e semiúmida (Areia-PB) e um estoque nulo para a camada “E” na região quente e semiárida (Soledade-PB), possuindo uma camada superficial – A de  $4,91 \text{ Mg ha}^{-1}$  de carbono orgânico.

**Tabela 9** - Estoque de Carbono por horizonte de solo nas diferentes intensidades de uso para cada Pedoambiente.

Solo/região	Roçado			Pastagem			Mata		
	HD	Esp (cm)	Est C ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	HD	Esp (cm)	Est C ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	HD	Esp (cm)	Est C ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )
S1	A1	13,0	14,21	A1	15,0	11,48	A1	15,0	16,57
	E/A3	12,0	10,75	A3	15,0	7,80	A3	15,0	16,22

	Bt	17,0	11,44	Bt	15,0	16,91	Bt	30,0	21,98
S2	A1	16,0	19,47	A1	18,0	15,97	A11	16,0	34,97
	A2	23,0	34,91	A2	24,0	23,83	A12	17,5	21,41
	A3/B21	19,0	15,21	Bt	23,0	21,84	E	25,8	35,24
	-	-	-	-	-	-	Bt	17,5	23,61
S3	A1	11,6	16,90	A1	15,6	17,34	A1	29,0	27,74
	A3	16,8	12,32	Bt	17,4	13,53	E	24,0	11,65
	Bt	18,6	16,56	-	-	-	Bt	14,0	7,44

HD = horizonte diagnóstico; Esp = espessura da camada; Est C = estoque de carbono. S1 = Planossolo de Barra de Santana; S2 = Planossolo de Campina Grande; S3 = Planossolo de Pocinhos.

### 5.2.2. Estoque de carbono orgânico

Tanto os Pedoambientes como as diferentes intensidades de uso demonstraram efeitos significativos sobre os Estoques de Carbono Total dos Planossolos, entretanto, não houve efeito de interação entre essas variáveis (Tabela 10).

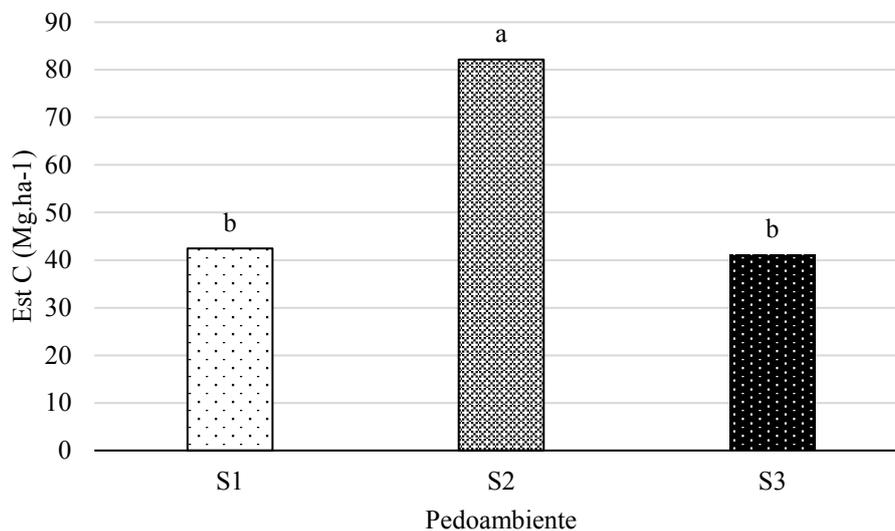
**Tabela 10** - Resumo da análise de variância para Estoque de Carbono Orgânico em diferentes Pedoambientes e intensidades de uso dos Planossolos.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio <sup>1</sup>
Pedoambiente (A)	2	0,000605 **
Intensidade de uso (B)	2	0,000473 **
A x B	4	0,000078 ns
Erro	36	0,000041
CV (%)		28,57

\*\* e ns - significativo pelo teste F à 1 % e não significativo, respectivamente. <sup>1</sup> Para atender os pressupostos da Anova, os dados foram transformados por 1/X.

Os Estoques de Carbono Orgânico Total das áreas de Campina Grande – S2, apresentaram superioridade estatística sobre as áreas de Barra de Santana – S1 e Pocinhos – S3, sendo 93,52 e 99,58 % maior, respectivamente (Figura 14). Vale salientar que, a região do PN2 possui a maior média de precipitação anual e temperaturas medianas, em comparação às demais regiões. Além disso, os autores Cunha et al. (2015) reforçam que solos com acúmulo de água e ácidos, como pode ser verificado na tabela 21 (Anexo I), tendem a tornar mais lenta a taxa de decomposição da MOS. Sendo assim, esse Pedoambiente apresenta a umidade necessária para a atividade microbiana, mas com uma

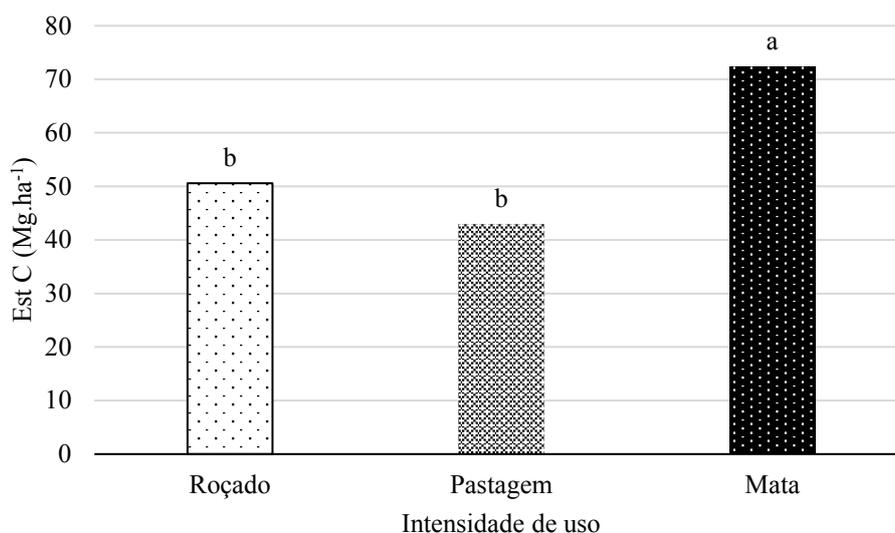
temperatura menor, o que reduz a velocidade da decomposição e, assim, favorece o acúmulo de carbono no sistema solo.



**Figura 14** – Estoques de Carbono Orgânico Total em função dos pedoambientes para os Planossolos.

S1 = Planossolo de Barra de Santana; S2 = Planossolo de Campina Grande; S3 = Planossolo de Pocinhos.

Os Estoques de Carbono Orgânico Total sob Mata nativa foram superiores as demais intensidades de uso para os Planossolos (Figura 15), independentes da região de ocorrência. O mesmo ocorreu na pesquisa de Freitas et al. (2018) que, analisando estoques de carbono em Latossolo sob mata nativa, mata de reflorestamento e uma área agrícola com cana-de-açúcar, notaram superioridade estatística de ambas as áreas conservadas em comparação com área manejada, atribuída a inexpressiva alteração do ambiente, o que favorece a agregação das partículas do solo que protegem a MOS da mineralização.



**Figura 15** – Estoques de Carbono Orgânico Total em função das intensidades de uso para os Planossolos.

As áreas com Mata nativa se destacam das áreas manejadas justamente pelo alto grau de conservação dos agregados do solo que protegem a MOS e reduzem o ataque microbiano e, conseqüentemente, reduzem a mineralização (Freitas et al., 2018; Siqueira Neto et al., 2009; Sá et al., 2001).

### 5.2.3. Análise de Componentes Principais

Com relação aos autovetores dos Planossolos, presentes na Tabela 11, o CP1 explica 13 das 20 variáveis, enquanto o CP2 explica 5 das 20 variáveis, sendo que juntos, ambos os componentes explicam 73,2 % da variância acumulada.

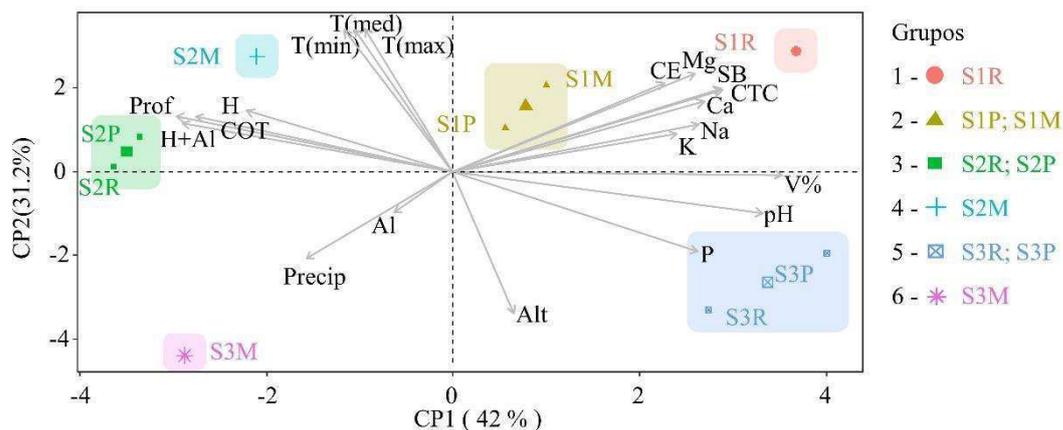
**Tabela 11** - Autovetores dos dois primeiros componentes principais de variáveis químicas e pedoambientais em áreas de Planossolos (S).

Variáveis	S	
	CP1	CP2
pH	<b>0.309</b>	-0.108

Condutividade elétrica (CE)	<b>0.211</b>	0.229
P	<b>0.244</b>	-0.208
Al <sup>3+</sup>	-0.059	-0.107
H	<b>-0.257</b>	0.141
H+Al	<b>-0.271</b>	0.124
Na <sup>+</sup>	<b>0.245</b>	0.120
K <sup>+</sup>	<b>0.224</b>	0.097
Ca <sup>2+</sup>	<b>0.251</b>	0.180
Mg <sup>2+</sup>	<b>0.242</b>	<b>0.251</b>
SB	<b>0.268</b>	0.214
CTC	<b>0.269</b>	0.210
V%	<b>0.329</b>	-0.009
COT	-0.206	0.156
Temperatura (média)	-0.098	<b>0.367</b>
Temperatura (máxima)	-0.088	<b>0.369</b>
Temperatura (mínima)	-0.109	<b>0.366</b>
Altitude	0.061	<b>-0.368</b>
Precipitação	-0.147	-0.226
Profundidade do solo	<b>-0.276</b>	0.143
Variância	8.403	6.242
Variância acumulada (%)	42.015	73.226

Autovetor em negrito indica que a variável participa do componente em questão (correlação  $\geq \pm 0.6$ ), determinado de acordo com Wairegi e van Asten (2011).

O primeiro eixo da ACP para os Planossolos (Figura 16), explica 42 % da variabilidade dos dados com influência da percentagem de saturação por bases (V%), pH, CTC, SB, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, fósforo (P), Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e CE, nessa ordem, com autovetores positivos e profundidade do solo, H+Al e H<sup>+</sup>, também nessa ordem, com os autovetores negativos. No segundo eixo, que explica 31,2 % da variabilidade dos dados, temos as temperaturas mínima, média e máxima, se contraponto com a altitude, com autovetores positivos e negativos, respectivamente, ou seja, quanto maior a altitude do terreno, menores as temperaturas. A relação entre a altitude e a temperatura é bem conhecida e importante para as regiões tropicais e subtropicais, pois, algumas centenas de metros podem significar sensíveis mudanças nos ambientes (Fritzsons et al., 2015) e nos estoques de carbono que, por sua vez, são influenciados pelos microrganismos do solo que são sensíveis às mudanças ambientais.



**Figura 16** - Biplot com base nos valores das variáveis e pontuação para os tratamentos dos dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) dos Planossolos.

Os Planossolos de Barra de Santana com intensidade de uso roçado (S1R) tiveram maiores valores de pH, CE, P e as bases trocáveis a mais do que a pastagem (S1P) e a mata (S1M), separando-os nos Grupos 1 e 2, respectivamente. A pastagem e o roçado de Pocinhos (S3P e S3R, respectivamente) compõem o Grupo 5 e apresentam o mesmo comportamento do Grupo 1 para o CP1, entretanto, diferenciam-se pela maior altitude e menores temperaturas no CP2. O Grupo 6, sendo a mata de Pocinhos (S3M), posiciona-se abaixo do segundo eixo juntamente com o Grupo 5, obviamente por ser um eixo caracterizado pelas condições ambientais comuns a região, ficando a variação entre os grupos no primeiro eixo por causa das maiores concentrações de  $H^+$ ,  $Al^{3+}$  e sua soma (H+Al) para o Grupo 6. Os Grupos 3 e 4 estão localizados à esquerda do CP1, justamente por possuírem maiores concentrações H+Al, associados a uma maior profundidade dos perfis dos solos e, como consequência, baixa atividade de argila, caracterizada pela baixa SB e CTC além do pH ácido.

#### 5.2.4. Estoque de carbono orgânico em profundidade

Os Estoques de Carbono Orgânico apresentaram efeitos de interação entre os pedoambientes e as intensidades de uso nas camadas de 0 a 10 e de 0 a 20 cm de

profundidade, entretanto, na camada de 0 a 30 cm apenas efeitos isolados das variáveis (Tabela 12).

**Tabela 12** - Resumo da análise de variância para os Estoques de Carbono Orgânico acumulado de 10 a 40 cm de profundidade.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio					
		0 – 10 <sup>1</sup>		0 – 20 <sup>1</sup>		0 – 30 <sup>1</sup>	
Pedoambiente (A)	2	0,063035	*	0,052125	*	0,084342	**
Intensidade de uso (B)	2	0,124011	**	0,117938	**	0,107339	**
A x B	4	0,085417	**	0,052759	*	0,03451	ns
Erro	36	0,016397		0,014334		0,014442	
CV (%)		12,30		9,05		8,15	

\*\*, \* e ns - significativo pelo teste F à 1%, à 5 % e não significativo, respectivamente. <sup>1</sup> Para atender os pressupostos da Anova, os dados foram transformados por Log X.

A relação estatística entre os Pedoambientes e os tipos de uso foram iguais nas camadas de 0 a 10 e de 0 a 20 cm de profundidade, sendo a Mata nativa do Planossolo de Campina Grande – S2 superior aos demais Pedoambientes e, por sua vez, superior as intensidades de uso de Pastagem e Roçado na sua mesma região de ocorrência (Tabela 13).

**Tabela 13** – Estoques de Carbono Orgânico nas profundidades de 0 a 10 e de 0 a 20 cm em função das intensidades de uso e Pedoambientes.

Profundidade do solo	Ambiente	Intensidade de uso					
		Roçado		Pastagem		Mata	
Est C (Mg ha <sup>-1</sup> )							
0 a 10 cm	S1	10,81	A a	7,66	A a	11,05	A b
	S2	11,83	B a	8,71	B a	21,84	A a
	S3	14,08	A a	11,15	A a	9,99	A b
Est C (Mg ha <sup>-1</sup> )							
0 a 20 cm	S1	21,74	A a	14,08	B a	21,98	A b
	S2	24,25	B a	17,46	B a	37,89	A a
	S3	23,59	A a	21,07	A a	19,98	A b

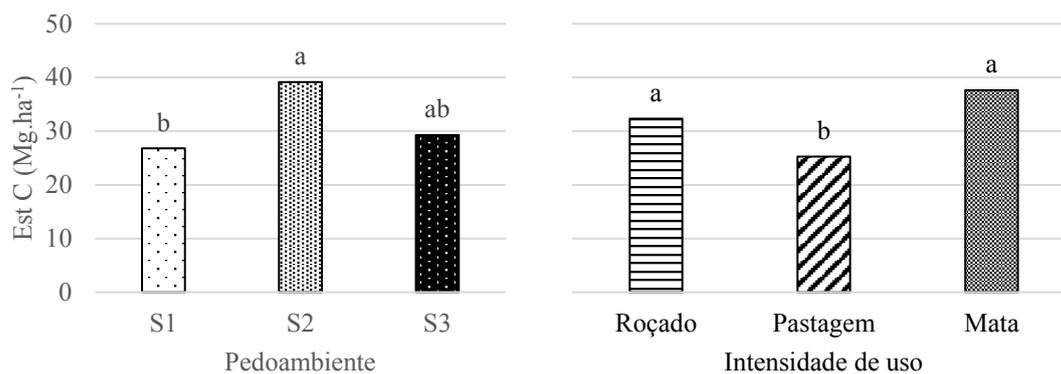
Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5 % de probabilidade. S1 = Planossolo de Barra de Santana; S2 = Planossolo de Campina Grande; S3 = Planossolo de Pocinhos.

O resultado reforça que os estoques de carbono são favorecidos em solos preservados, associados às maiores precipitações, o que torna a dinâmica do carbono mais equilibrada entre as entradas e saídas do carbono no sistema solo. Além disso, ressalta-se a importância das áreas de preservação, tendo em vista que, a Mata nativa do S2 fica em uma área de proteção sob responsabilidade do Instituto Nacional do Semiárido – INSA, com sede em Campina Grande-PB. Clemente e Moreira (2021) analisando os estoques de carbono e biomassa, abaixo e acima do solo na bacia do Rio das Rãs – BA, identificaram que a conservação da vegetação natural é determinante para o aumento ou estabilidade dos estoques de carbono, além de ser um fator decisivo para a regulação do clima regional. E Menezes et al. (2021), trabalhando com estoques de carbono sob Caatinga densa, Caatinga aberta, pastagem e cultivo, perceberam que a Caatinga densa se mostrou pelo menos 29 % superior aos demais estoques de carbono, inclusive, da própria Caatinga aberta.

Somente a camada de 0 a 30 cm de profundidade apresentou efeitos isolados das variáveis, sendo para os diferentes Pedoambientes, superioridade estatística do S2 sobre os demais (Figura 17.A) e superioridade da mata sobre a pastagem, mas, sem diferir das áreas de roçado (Figura 17.B). Resultado que corrobora com os encontrados por Neves et al. (2004) que compararam os Est C em profundidade para diferentes sistemas de manejo de um Latossolo e obtiveram superioridade estatística para o ambiente conservado, no caso Cerrado natural, para todas as profundidades estudadas.

A

B



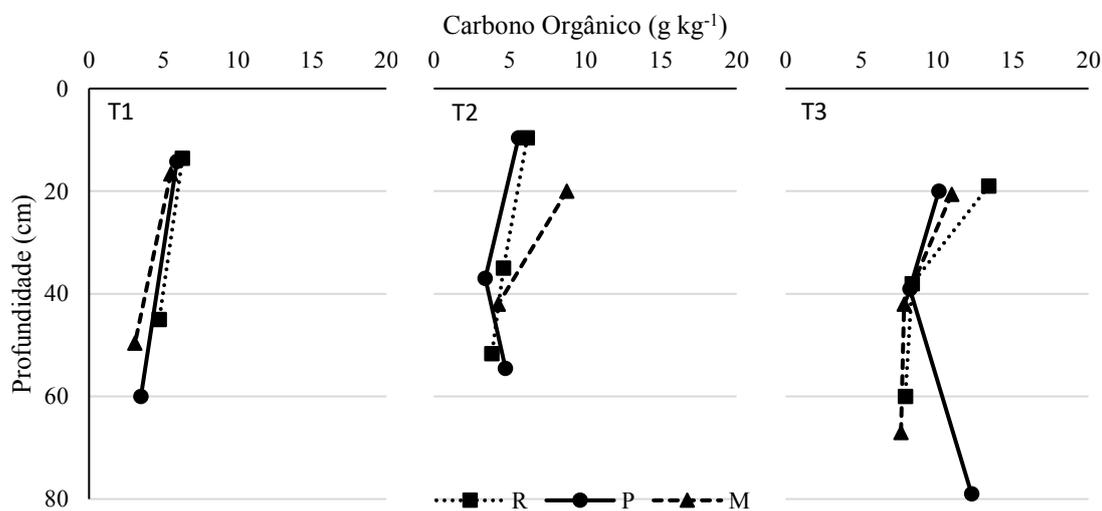
**Figura 17** - Estoques de Carbono Total em função dos Pedoambientes (A) e em função das intensidades de uso (B) na camada de 0 a 30 cm de profundidade.

Assim como nas demais classes de solo, foram coletados os dados dos estoques de carbono de 0 a 40 cm de profundidade dos Planossolos, no entanto, não foram considerados na discussão por não atenderem aos pressupostos da Anova, justamente pela alta variabilidade dos dados.

### 5.3. Avaliação dos estoques de carbono orgânico em Luvisolos sob diferentes tipos de uso e variados pedoambientes

#### 5.3.1. Análise descritiva

Nos Luvisolos de Boa Vista – T1, Serra Branca – T2 e Amparo – T3, a concentração de Carbono Orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) demonstrou o mesmo comportamento dos demais Pedoambientes (Figura 18), ou seja, maiores concentrações nas camadas superficiais. Observando os perfis levantados no Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (Paraíba, 1978), é possível dizer que a concentração de Carbono Orgânico possui essa característica universalmente para todos os perfis presentes no levantamento, fundamentando a tendência presente nessa pesquisa, ou seja, as camadas superficiais tendem a apresentar uma maior concentração, reduzindo com a profundidade.

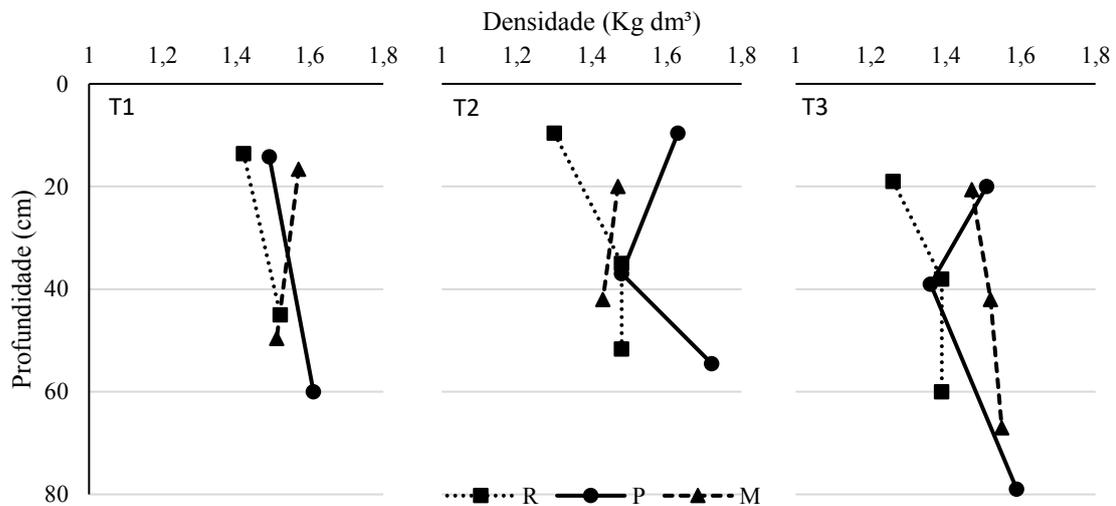


**Figura 18** - Concentração de Carbono Orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em profundidade (cm) entre as diferentes intensidades de uso para cada Pedoambiente.

Os pesquisadores Neves et al. (2004), analisando os teores de carbono orgânico, alcançaram valores decrescentes com a profundidade para todos os diferentes sistemas de

manejo dos solos estudados. Dessa forma, fica evidente que as maiores concentrações e as maiores perdas de C no solo ocorrem nas camadas superficiais, em se encontram os microrganismos que ditam a dinâmica da MOS, que por sua vez, são mais afetados pelos fatores abióticos.

Para a densidade do solo, os Luvisolos de Serra Branca – T2 e Amparo – T3 (Figura 19), exibiram uma camada superficial mais compactada na pastagem, em comparação as demais camadas superficiais do roçado e da mata nativa, fora isso não tiveram nenhuma tendência entre as intensidades de uso ou mesmo entre as regiões de ocorrência. Tomaz (2021) avaliando um Luvisolo Háplico no Sertão Pernambucano, encontrou uma tendência de valores crescentes de densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) para a Caatinga preservada por mais de 30 anos, Caatinga em regeneração e uma área de cultivo com feijão, respectivamente, bem como crescentes em profundidade, contrariando o encontrado nessa pesquisa.



**Figura 19** - Densidade do solo ( $\text{kg dm}^3$ ) em profundidade (cm) entre as diferentes intensidades de uso para cada Pedoambiente.

Os Estoques de Carbono nos horizontes diagnósticos não apresentaram um comportamento bem definido (Tabela 14). No T1 e T2 as camadas superficiais sob Mata nativa demonstraram médias maiores ao roçado e pastagem, apesar da Mata nativa do T2

possuir uma camada bem mais espessa que as demais. No T3, o comportamento não possui médias distintas, pelo contrário, os estoques foram bem semelhantes ao se comparar as intensidades de uso. Com relação aos Estoques de Carbono das camadas superficiais entre as diferentes regiões de ocorrência, nota-se que o Luvissole de Amparo (T3), caracterizado por um ambiente de maior precipitação média anual e menor temperatura (Tabela 3), teve um maior estoque quando comparado aos demais Pedoambientes, que para Bento (2018), são ambientes ideais para maiores estoques de carbono. O resultado corrobora com de Felix (2016) que encontrou, para as camadas superficiais, um maior estoque de carbono orgânico para o Luvissole presente em clima quente e semiúmido (Alagoinha) do que os do clima quente e semiárido (Taperoá).

**Tabela 14** - Estoque de Carbono por horizonte de solo nas diferentes intensidades de uso para cada Luvissole nas diferentes regiões.

Solo/região	Roçado			Pastagem			Mata		
	HD	Esp (cm)	Est C (Mg ha <sup>-1</sup> )	HD	Esp (cm)	Est C (Mg ha <sup>-1</sup> )	HD	Esp (cm)	Est C (Mg ha <sup>-1</sup> )
T1	AP	13,6	12,33	A1	14,2	11,84	A1	16,6	14,09
	Bt	31,4	21,91	BT	45,8	26,06	Bt	33,0	15,40
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T2	A1	9,6	7,69	A1	9,6	8,61	A1	20,0	25,84
	Bt	25,4	17,10	A3	27,4	14,08	Bt/BC	22,0	12,82
	BC	16,7	8,92	Bt/R	17,5	15,23	-	-	-
T3	AP	19,0	32,12	A1	20,0	30,57	A1	20,6	32,30
	Bt	19,0	22,72	Bt	19,0	20,96	Bt	21,4	24,62
	BC	22,0	23,94	BC	40,0	78,09	BC	25,0	30,56

HD = horizonte diagnóstico; Esp = espessura da camada; Est C = estoque de carbono. T1 – Luvissole de Boa Vista; T2 = Luvissole de Serra Branca; T3 = Luvissole de Amparo.

A grande variabilidade dos Estoques de Carbono sob os ecossistemas de florestas secas, observada na literatura, deriva da grande variação das condições ambientais com tipo de solo e clima, com ênfase para a precipitação (Menezes et al., 2021) reforçando, mais uma vez, a alta precipitação para as condições locais do T3, de 750 mm, além da altitude mais elevada e temperaturas mais amenas, favorecendo os Estoques de Carbono pela menor atividade microbiana.

### 5.3.2. Estoque de carbono orgânico

Os Pedoambientes alcançaram efeitos significativos sobre os Estoques de Carbono Orgânico Total dos Luvisolos (Tabela 15). Por outro lado, as intensidades de uso não demonstraram efeitos, muito provavelmente pela baixa densidade da mata nativa, atrelada ao grande aporte de resíduos nas demais intensidades de uso e a pouca separação física das intensidades de uso na região. O mesmo ocorreu nos estudos de Pegoraro et al. (2018) que comparando os estoques de carbono entre áreas de cultivo com um bananal velho, um bananal recém renovado, cana-de-açúcar, pastagem e uma mata nativa em Latossolo Vermelho-amarelo na região Semiárida de Minas Gerais, concluíram que as diferentes intensidades de uso da terra possuem estoques semelhantes nas camadas de 0 - 0,6 m.

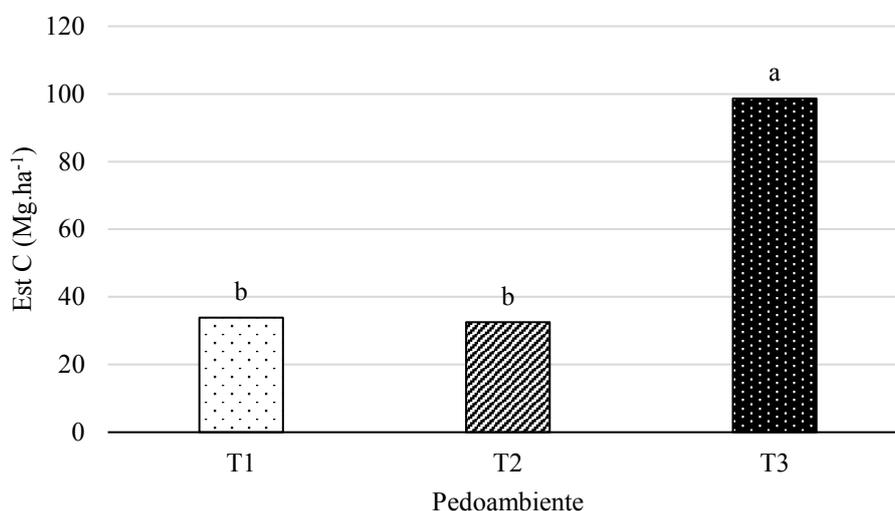
**Tabela 15** - Resumo da análise de variância para Estoque de Carbono Orgânico Total em diferentes Pedoambientes e intensidades de uso dos Luvisolos.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio <sup>1</sup>
Pedoambiente (A)	2	1,0627 **
Intensidade de uso (B)	2	0,0112 ns
A x B	4	0,0285 ns
Erro	36	0,0301
CV (%)		10,52

\*\* e ns - significativo pelo teste F à 1 % e não significativo, respectivamente. <sup>1</sup> Para atender os pressupostos da Anova, os dados foram transformados por Log X.

O estoque de carbono orgânico total coletado na região de Amparo – T3 apresentou superioridade estatística sobre os estoques de carbono dos Luvisolos de Boa Vista e Serra Branca, T1 e T2, respectivamente (Figura 20), muito provavelmente, pela maior média de precipitação anual e a temperatura mais amena do T3, quando comparada com as demais regiões, o que favorece a redução da atividade microbiana e maior acúmulo de MOS. Entretanto, esses resultados diferem dos encontrados por Szakács (2007), que identificou uma correlação inversa dos estoques de carbono com a precipitação e a temperatura, ou seja, menores estoques em ambientes com maior precipitação e maior temperatura. Segundo Assad et al. (2013), o aumento da temperatura

também aumenta as taxas de decomposição da matéria orgânica, bem como ocorre a elevação da respiração do solo, provocando maiores perdas de C por emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.



**Figura 20** - Estoques de Carbono Orgânico Total em função dos Pedoambientes dos Luvisolos.

T1 – Luvisolo de Boa Vista; T2 = Luvisolo de Serra Branca; T3 = Luvisolo de Amparo.

### 5.3.3. Análise de Componentes Principais

Os autovetores dos Luvisolos, Tabela 16, apresentam um total de 14 das 20 variáveis analisadas no CP1 e cinco das 20 variáveis no CP2, totalizando 73,9 % variância acumulada.

**Tabela 16** - Autovetores dos dois primeiros componentes principais de variáveis químicas e pedoambientais em áreas de Luvisolos (T).

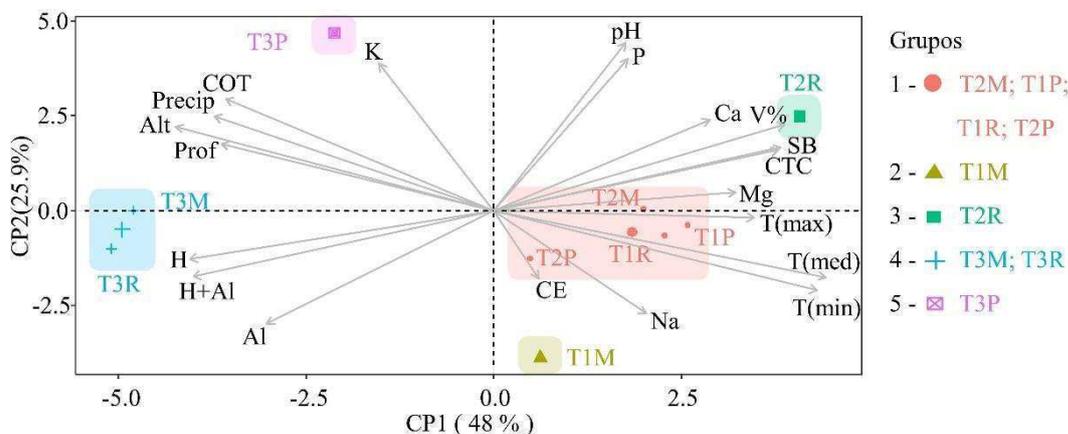
Variáveis	T	
	CP1	CP2
pH	0.118	<b>0.400</b>

Condutividade elétrica (CE)	0.040	-0.163
P	0.119	<b>0.362</b>
Al <sup>3+</sup>	<b>-0.201</b>	<b>-0.271</b>
H	<b>-0.270</b>	-0.118
H+Al	<b>-0.267</b>	-0.160
Na <sup>+</sup>	0.135	-0.248
K <sup>+</sup>	-0.102	<b>0.351</b>
Ca <sup>2+</sup>	0.192	0.215
Mg <sup>2+</sup>	<b>0.215</b>	0.043
SB	<b>0.255</b>	0.149
CTC	<b>0.253</b>	0.144
V%	<b>0.258</b>	0.205
COT	<b>-0.238</b>	<b>0.266</b>
Temperatura (média)	<b>0.295</b>	-0.162
Temperatura (máxima)	<b>0.231</b>	-0.018
Temperatura (mínima)	<b>0.287</b>	-0.193
Altitude	<b>-0.282</b>	0.201
Precipitação	<b>-0.248</b>	0.225
Profundidade do solo	<b>-0.241</b>	0.159
Variância	9.603	5.182
Variância acumulada (%)	48.015	73.923

Autovetor em negrito indica que a variável participa do componente em questão (correlação  $\geq \pm 0.6$ ), determinado de acordo com Wairegi e van Asten (2011).

Analisando a Figura 21, que compila as correlações das variáveis relacionadas aos Luvisolos, observa-se que o primeiro eixo explica 48 % da variabilidade dos dados com influência da temperatura média, temperatura mínima, V%, SB, CTC, temperatura máxima e o Mg<sup>2+</sup>, nessa ordem, com autovetores positivos e altitude, H<sup>+</sup>, H+Al, precipitação, profundidade do solo, COT e o Al<sup>3+</sup>, também nessa ordem, porém com autovetores negativos. No primeiro eixo fica caracterizado que os Estoques de Carbono estão diretamente relacionados nas regiões de maior pluviometria, altitude e profundidade dos perfis do solo, enquanto os menores Estoques de Carbono estão associados a uma maior atividade de argila e temperaturas mais altas. No segundo eixo, que explica 25,9 % da variabilidade dos dados com o pH, P, K<sup>+</sup> e COT, nessa ordem, com autovetores positivos e o Al, se contrapondo aos demais, com autovetor negativo, ou seja, Luvisolos com maiores concentrações de alumínio tendem a ter menores concentrações de K<sup>+</sup> e de P, bem como um pH mais ácido e um menor COT. Segundo Cunha et al. (2015), solos

mais ácidos são caracterizados por um processo de decomposição mais lento, o que favoreceria um COT maior, contrariando os resultados encontrados.



**Figura 21** - Biplot com base nos valores das variáveis e pontuação para os tratamentos dos dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) dos Luvisolos.

Os Grupos 1, 2 e 3, compostos pelos Luvisolos de Boa Vista e Serra Branca (T1 e T2, respectivamente) nas diferentes intensidades de uso, posicionaram-se à direita do primeiro eixo, caracterizados por Estoques de Carbono menores, temperaturas mínimas, médias e máximas maiores, além de uma maior atividade de argila, ao contrário dos Grupos 4 e 5 posicionados à esquerda do primeiro eixo, compostos pelas diferentes intensidades de uso dos Luvisolos de Amparo (T3), e caracterizados pela maior precipitação média anual, solos mais profundos e os maiores Estoques de Carbono. Para os Luvisolos de Amparo, a pastagem (Grupo 5) encontra-se em grupo separado do roçado e a da mata (Grupo 4), sendo a pastagem, posicionada acima do segundo eixo, justamente por apresentar uma menor quantidade de  $Al^{3+}$ , maior concentração de  $K^+$ , P, maior pH e COT, enquanto o Grupo 4, abaixo do segundo eixo, com dados opostos.

#### 5.3.4. Estoque de carbono orgânico em profundidade

Para os Estoques de Carbono, a variável Pedomoisture mostrou-se significativa ( $P < 0,1$ ) em todas as profundidades (Tabela 17).

**Tabela 17** - Resumo da análise de variância para os estoques de carbono acumulado de 10 à 40 cm de profundidade.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio			
		0 – 10 <sup>1</sup>	0 – 20 <sup>1</sup>	0 – 30 <sup>1</sup>	0 – 40 <sup>1</sup>
Pedoambiente (A)	2	4,507 **	11,303 **	16,008 **	21,289 **
Intensidade de uso (B)	2	0,430 ns	1,385 ns	1,104 ns	1,087 ns
A x B	4	0,438 ns	1,004 ns	0,878 ns	0,795 ns
Erro	36	0,488	0,807	0,827	0,959
CV (%)		21,19	19,78	17,13	16,40

\*\* e ns - significativo pelo teste F à 1 % e não significativo, respectivamente. <sup>1</sup>Para atender os pressupostos da Anova, os dados foram transformados por  $\sqrt{X}$ .

O Luvissole de Amparo – T3 demonstrou um efeito estatisticamente superior aos demais Luvissoles (T2 e T3) em todas as profundidades analisadas (Tabela 18), vale salientar que a região possui uma maior altitude, atrelada a uma precipitação média maior e temperaturas mais amenas. Esses resultados indicam que as condições locais dos Luvissoles de Amparo propiciam um maior acúmulo de C, independente do manejo empregado.

**Tabela 18** – Estoque de Carbono Orgânico em profundidade acumulado em função dos Pedoambientes com Luvissole.

Pedoambiente	Est C (Mg ha <sup>-1</sup> ) em profundidade							
	0 a 10		0 a 20		0 a 30		0 a 40	
T1	8,65	b	15,68	b	21,61	b	27,43	b
T2	9,81	b	18,17	b	24,16	b	30,11	b
T3	16,10	a	31,99	a	43,29	a	54,94	a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5 % de probabilidade. T1 – Luvissole de Boa Vista; T2 = Luvissole de Serra Branca; T3 = Luvissole de Amparo.

Além disso, os estoques dos Luvissoles mostraram-se menos variáveis em profundidade, ou seja, os estoques de carbono nas diferentes profundidades apresentaram a mesma relação estatística, de 0 a 10, de 0 a 20, de 0 a 30 e de 0 a 40 cm, o que pode

estar atrelado a homogeneidade das características físicas e químicas em profundidade, justamente por possuírem uma maior profundidade efetiva dos solos.

#### 5.4. Relação entre estoque de carbono orgânico total e condições edafoclimáticas em diferentes classes de solo

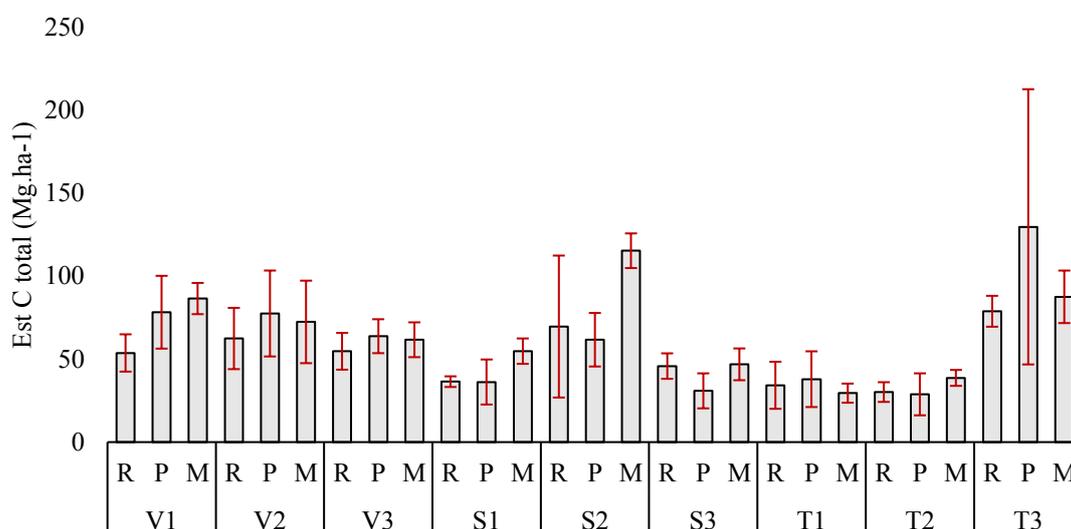
Para relacionar a variável de interesse Estoque de carbono orgânico total do perfil do solo com as variáveis ambientais, foi utilizado a correlação de Spearman (Tabela 19). Pelos dados percebe-se que a precipitação ( $P < 0,05$ ) e a profundidade do perfil do solo ( $P < 0,01$ ) se correlacionaram, segundo Hopkins (2016), alta e muito alta, respectivamente, sendo ambas positivas. Assim, para um maior Estoque de Carbono orgânico do solo, a profundidade efetiva do perfil é o principal fator para se obter um maior valor da variável, seguido da precipitação da região, o que relaciona a quantidade de água disponível para as reações de decomposição e mineralização, essenciais para a ciclagem do carbono no solo. Conforme Tognon et al. (1998), que estudaram as variações de concentração da MOS de Latossolos nas regiões da Amazônia e Cerrado, concluíram que, com o aumento da precipitação pluviométrica, existe uma tendência de aumento da MOS em ambas as regiões. E Gomes et al. (2019), analisando os estoques de carbono do Brasil, identificaram que as classes de solo, a temperatura média mensal, a precipitação e a vegetação são as covariáveis mais importantes juntamente com a profundidade do solo.

**Tabela 19** - Correlação de Spearman entre Estoque de Carbono Orgânico Total (COT) e as variáveis ambientais temperatura (T) média, máxima e mínima, altitude, precipitação e profundidade do solo.

Variável	Variáveis	rho	95% CI	p
Est COT	T (med)	0.02	[-0.37, 0.41]	> 0.999
	T (max)	-0.11	[-0.48, 0.30]	> 0.999
	T (min)	0.17	[-0.23, 0.53]	> 0.999
	Altitude	-0.16	[-0.52, 0.25]	> 0.999
	Precipitação	0.56	[0.22, 0.78]	0.033
	Profundidade	0.81	[0.61, 0.91]	< 0.001

CI - confidence interval; p-value adjustment method: Holm (1979).

Analisando os Estoques de Carbono Orgânico Total para cada classe de solo em função das distintas condições edafoclimáticas e tipos de uso (Figura 22), observa-se que os maiores valores para cada classe de solo estão presentes nos Luvisolos de Amparo – T3, nos Planossolos de Campina Grande – S2 e nos Vertissolos de Galante – V1. Vale ressaltar que as regiões, V1, S2 e T3, são as mesmas com as maiores precipitações médias anuais, sendo elas 900, 650 e 750 mm, respectivamente (Tabelas 1, 2 e 3), corroborando com a correlação apresentada (Tabela 19).



**Figura 22** - Estoque de Carbono Orgânico Total para cada classe de solo em função das condições edafoclimáticas e intensidades de uso.

R = Roçado; P = Pastagem; M = Mata; V1 = Vertissolo de Galante; V2 = Vertissolo de Queimadas; V3 = Vertissolo de Cabaceiras; S1 = Planossolo de Barra de Santana; S2 = Planossolo de Campina Grande; S3 = Planossolo de Pocinhos; T1 – Luvisolo de Boa Vista; T2 = Luvisolo de Serra Branca; T3 = Luvisolo de Amparo.

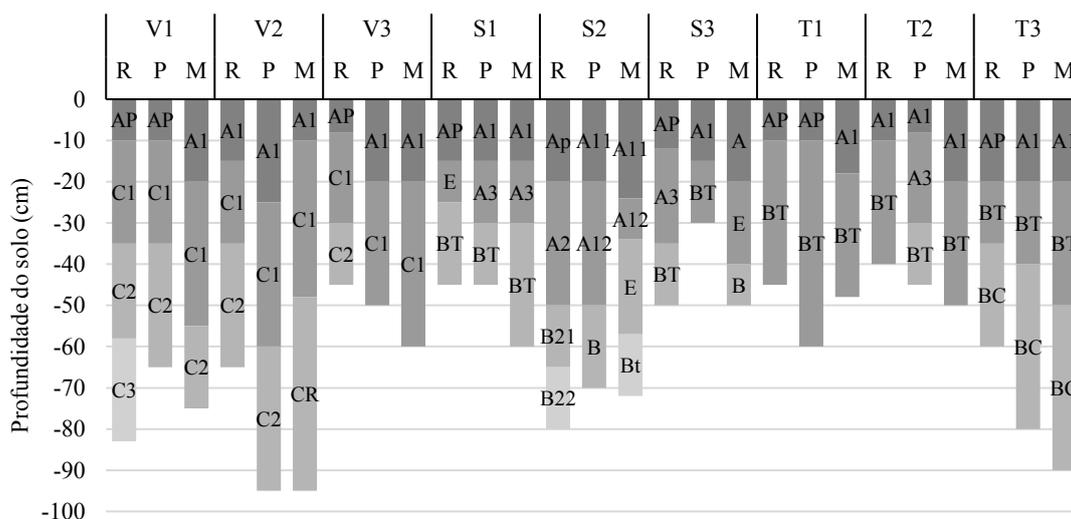
Por outro lado, as demais regiões com os menores valores, evidenciam a necessidade da água no sistema solo para viabilizar as taxas de decomposição e mineralização, trazendo equilíbrio dinâmico do carbono e proporcionando o acúmulo de MOS, principalmente, nos tipos de usos mais conservados, como é o caso da Mata nativa. Outra característica importante fica por conta da densidade da Caatinga para as áreas de

mata nativa pois, como verificado por Menezes et al. (2021) que compararam os estoques de carbono entre Caatinga densa, Caatinga aberta, pastagem e cultivo, identificaram que a Caatinga aberta, a pastagem e a área de cultivo não diferiram entre si, ratificando os dados dessa pesquisa, principalmente, pelas características das matas nativas menos densas e preservadas nas regiões onde não se sobressaíram das demais intensidades de usos.

Nos Vertissolos de Galante – V1, o tipo de uso com mata nativa mostrou-se superior aos demais Estoques de Carbono Orgânico Total em valores médios. A área sob Roçado (53,68 Mg ha<sup>-1</sup>) com um valor médio de 37,9 % menor ao compará-la com a Mata (86,44 Mg ha<sup>-1</sup>), confirmando os dados de Fracetto et al. (2012) que identificaram uma redução ainda maior, de 50%, na conversão da Caatinga para campos de produção de mamona, no centro-norte Baiano. Tomaz (2021), analisando os estoques de carbono em diferentes profundidades na bacia do Rio Pajeú, também encontrou diferenças significativas entre a Caatinga Preservada e um cultivo de Feijão para todas as profundidades do solo, reforçando o encontrado neste estudo.

Para os Planossolos de Campina Grande – S2, além da Mata nativa (115 Mg ha<sup>-1</sup>) demonstrar uma maior média de Estoque de Carbono Total, ainda superou a Pastagem e o Roçado em aproximadamente 87 e 65 %, respectivamente. Segundo Tomaz (2021), que analisou estoques de carbono em solos comparativamente entre áreas de Caatinga preservada, Caatinga em regeneração e uma área de cultivo com feijão, os maiores estoques na Caatinga preservada estão diretamente relacionados aos macroagregados que protegem a matéria orgânica da decomposição microbiana. Denardin et al. (2014), avaliando Est C em diferentes áreas de mata, identificaram valores de 107,67 Mg ha<sup>-1</sup> para florestas nativas, sendo 35 % superior a uma área de Eucalipto e 27 % a uma área em monocultivo de erva-mate.

Analisando os Estoques de Carbono Total dos solos sob Pastagem, também na Figura 21, observa-se uma nítida superioridade isolada para o Luvissole de Amparo – T3, muito provavelmente, atribuída a profundidade efetiva do solo (Figura 23) associada a uma alta precipitação média anual (750 mm) e um grande aporte de resíduos vegetais e esterco de animais na superfície, observados *in loco*.



**Figura 23** - Profundidade efetiva dos perfis e dos horizontes para cada intensidade de solo e as diferentes condições edafoclimáticas.

R = Roçado; P = Pastagem; M = Mata; V1 = Vertissolo de Galante; V2 = Vertissolo de Queimadas; V3 = Vertissolo de Cabaceiras; S1 = Planossolo de Barra de Santana; S2 = Planossolo de Campina Grande; S3 = Planossolo de Pocinhos; T1 – Luvisso de Boa Vista; T2 = Luvisso de Serra Branca; T3 = Luvisso de Amparo.

A alta variabilidade dos dados em T3, demonstra que não há homogeneidade dos pastos da região. As áreas de V2 e T1 também apresentaram médias superiores para as pastagens ao comparar com as demais intensidades de uso das suas respectivas regiões, porém, de forma menos proeminente. Segundo Segnini et al. (2019), uma pastagem bem manejada pode aumentar seus estoques de carbono, enquanto pastagens mal manejadas tendem a perder C quando comparadas com a vegetação original. Fatores como o manejo, sistema de pastejo, taxa de lotação e pressão de pastejo adequadas à capacidade de suporte, permitem que o solo estoque o carbono à níveis muito próximos às áreas conservadas, ou mesmo as ultrapassando, como ocorreu em alguns ambientes dessa pesquisa, justamente pelas gramíneas disponibilizarem grande quantidade de MOS através das raízes volumosas e abundantes que são constantemente renovadas (Rufino et al., 2022).

Comparando os Estoques de Carbono Orgânico Total encontrados nos perfis sob Roçado (Figura 21), identifica-se que os estoques do Planossolo de Barra de Santana – S1 e os Luvissoles de Boa Vista – T1 e Serra Branca – T2 obtiveram valores inferiores aos demais. O resultado pode estar associado a pequena profundidade efetiva dos perfis, que variaram de 40 a 45 cm (Figura 22), além de possuírem uma camada superficial pouco

espessa, no caso dos perfis T1 e T2. O perfil do S1 apesar de conter uma camada superficial maior, 15 cm, possuem uma camada E, caracterizada, segundo Santos et al. (2018), pela remoção do material coloidal mineral e orgânico, o que reduz o estoque nessa camada e, conseqüentemente, do perfil como um todo.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- I. Diferentes condições edafoclimáticas e de intensidade de uso do solo influenciaram de forma distinta cada classe de solo avaliada;
- II. As características climáticas de precipitação média anual e temperatura não afetaram nos Estoques de Carbono dos Vertissolos, mas, as intensidades de uso mostraram-se significativas com as áreas de pastagem apresentando valores semelhantes às áreas de Mata nativa, para as condições da pesquisa;
- III. Para os Planossolos estudados houve influência direta das condições ambientais sobre os Estoques de Carbono com superioridade na área de maior precipitação média anual, que foi em Campina Grande, bem como maior Estoque de Carbono em solos preservados;
- IV. Nas áreas avaliadas com Luvisolo, os Estoques de Carbono foram atingidos diretamente pelas condições ambientais, com maiores valores na área de maior precipitação e com solos mais profundos, entretanto, as condições de uso do solo não apresentaram impactos significativos;
- V. A partir das correlações dos dados contendo as características dos solos, do clima e das intensidades de uso, é possível afirmar que solos com perfis mais profundos e em regiões de maiores precipitações possuem maiores Estoques de Carbono orgânico total.

## 7. REFERÊNCIAS

AESA. Agência Executiva e de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado da Paraíba. 2006. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>>. Acesso em: 31 mai. 2022.

Angelotti, F.; Fernandes Júnior, P. I.; Sá, I. B. Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Medidas de Mitigação e Adaptação. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, p. 1097-1111. 2011.

Antoneli, V.; Francisquini, V. Influência de alguns elementos climáticos na produção de serrapilheira em um reflorestamento de pinus na FLONA (Floresta Nacional) de Irati-PR. *Caderno de Geografia*, v. 25, p. 176-190, 2015.

Araújo, E. C. G.; Silva, T. C.; Rocha, M. P.; Sanquetta, C. R. Estoque de carbono na madeira de Eucalyptus - relação material genético x espaçamento entre árvores. *Revista em Agronegócio e Meio e Ambiente*, v. 14, n. 2, p. 505-513, 2021. DOI:10.17765/2176-9168.2021v14n2e7998

Assad, E. D.; Pinto, H. S.; Martins, S. C.; Groppo, J. D.; Salgado, P. R.; Evangelista, B. ... Martinelli, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. *Biogeosciences*, v. 10, p. 6141–6160, 2013.

Barbosa, M.R.V.; Lima, I.B.; Lima, J.R.; Cunha, J.P.; Agra, M.F.; Thomas, W.W. Vegetação e flora no Cariri Paraibano. *Oecologia Brasiliensis*, v. 11, n. 3, p. 313-322, 2007.

Barros, J. D. S. Estoques de carbono e nitrogênio em diferentes usos do solo e condições socioeconômicas e ambientais no Sertão Paraibano. 2014. 149p. (Tese de doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2014.

Bento, D. F. Caracterização da variabilidade espacial do carbono orgânico e dos estoques de carbono em solos da região Centro-Oeste do Brasil. 2018. 166p. (Dissertação de mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2018.

Bernardi, A. C. C.; Machado, P. L. O.; Madari, B. E.; Tavares, S. L. R.; Campos, D. V. B.; Crisóstomo, L. A. Carbon and nitrogen stocks of an Arenosol under irrigated fruit orchards in semiarid Brazil. *Scientia Agricola*, v. 64, n. 2, 2007. DOI: 10.1590/S0103-90162007000200010

Bernardi, A. C. de C.; Tavares, S. R. de L.; Machado, P. L. O. de A.; Madari, B. E.; Crisostomo, L. A.; Campos, D. V. B. Fertilidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio de um Neossolo quartzarênico sob cultivo de fruteiras irrigadas na Região Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro: EMBRAPA solos, 2004. 36 p. (EMBRAPA Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 52).

Cardoso, J. A. F. Lima, A. M. N.; Cunha, T. J. F.; Rodrigues, M. S.; Hernani, L. C.; Amaral, A. J.; Oliveira Neto, M. B. Organic matter fractions in a quartzipsamment under cultivation of irrigated mango in the lower São Francisco Valley region, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 1068-1078, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbc20140498

Carvalho, J.L.N. Avanzi, J.C; Silva, M.L.N; Mello, C.R; Cerri, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 277-289. 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000200001

Chaves, I.B.; Francisco, P.R.M.; Lima, E.R.V.; Chaves, L.H.G. Modelagem e mapeamento da degradação da caatinga. *Revista Caatinga*, v. 28, n. 1, p. 183-195, 2015.

Clemente, C. M. C.; Moreira, A. A. M. Estoques de carbono e biomassa no semiárido baiano (1973 a 2019). *Geo-Ambiente On-line*, Jataí-GO, n. 41. 2021.

Core Team, R. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2018.

Costa, F. S.; Bayer, C. Zanatta, J. A.; Mielniczuk, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 32, n. 1, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100030>

Costa, O. V.; Cantarutti, R. B.; Fontes, L. E. F.; Costa, L. M.; Nacif, P. G. S.; Faria, J. C. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 5, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500007>

Cunha, T. J. F.; Mendes, A. M. S.; Giongo, V. Matéria orgânica do solo. In: Nunes, R. R.; Rezende, M. O. O. (Org.). *Recurso solo: propriedades e usos*. São Carlos: Cubo, 2015.

D'Andréa, A. F.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Guilherme, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.

Denardin, R. B. N.; Mattias, J. L.; Wildner, L. do P.; Nesi, C. N.; Sordi, A.; Kolling, D. F.; Busnello, F. J.; Cerutti, T. Estoque de carbono no solo sob diferentes formações florestais, Chapecó - SC. *Ciência Florestal*, v. 24, n. 1, 2014. DOI: 10.5902/1980509813323

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: EMBRAPA Produção de Informação, 2018. p. 412.

ESMAP. Brasil: país de baixo carbono Estudo de caso. Nota Informativa 005. 2010.

Felix, E. S. Relação de pedoambientes com as formas carbono, nitrogênio e fósforo em classes de solo do estado da paraíba. 2016. 87p. (Dissertação de mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, Areia-Pb, 2016.

Ferreira, A. G.; Mello, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia, ACLIMA*, ano 1, 2005.

Ferreira, Daniel Furtado. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. DOI: 10.28951/rbb.v37i4.450

Fidalgo, E. C. C. et al. Estoque de carbono nos solos do Brasil. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2007. 26 p. (EMBRAPA Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 121).

Filizola, H. F.; Luiz, A. J. B.; Maia, A. H. N.; Hernani, L. C. Atributos físicos-hídricos e estoque de carbono de solos de áreas sob irrigação em Itaí, SP. Revista de Estudos Ambientais. v. 23, n. 2, p. 6-22, 2021. DOI: 10.7867/1983-1501.2021v23n2p6-22

Fracetto, F. J. C.; Fracetto, G. G. M.; Cerri, C. C.; Feigl, B. J.; Siqueira Neto, M. Estoques de carbono e nitrogênio no solo cultivado com mamona na Caatinga. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, n. 5, p. 1545-1552, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000500019

Fracetto, F. J. C.; Fracetto, G. G. M.; Feigl, B. J.; Cerri, C. C.; Siqueira Neto, M. Emissões de gases de efeito estufa na produção de mamona e de seus subprodutos. Revista Caatinga, v. 28, n. 4, p. 90 – 98, 2015. DOI: 10.1590/1983-21252015v28n410rc

Francisco, P. R. M.; Chaves, I. B.; Chaves, L. H. G.; Brandão, Z. N.; Lima, E. R. V.; Silva, B. B. Mapeamento da Vulnerabilidade das Terras da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 06, n. 02, p. 271-286, 2013.

Francisco, P. R. M.; Chaves, I. B.; Chaves, L. H. G.; Lima, E. R. V. Detecção de mudança de vegetação de caatinga. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 5, n. 6, p. 1473-1487, 2012b.

Francisco, P. R. M.; Chaves, I. B.; Lima, E. R. V. Mapeamento das Terras para Mecanização Agrícola - Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, n. 2, p. 233-249, 2012a.

Freitas, L.; Oliveira, I. A.; Casagrande, J. C.; Silva, L. S.; Campos, M. C. C. Estoque de carbono de latossolos em sistemas de manejo natural e alterado. *Ciência Florestal*, v. 28, n. 1, 2018. DOI: /10.5902/1980509831575

Fritzsons, E.; Wrege, M. S.; Mantovani, L. E. Altitude e temperatura: estudo do gradiente térmico no rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Climatologia*, ano 11, v. 16, p. 108 – 119, 2015.

Gomes, L.C.; Faria, R. M.; Souza, E.; Veloso, G. V.; Schaefer, C. E. G. R.; Fernandes Filho, E.I. Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil. *Geoderma*, v. 340, p. 337-350, 2019. DOI: /10.1016/j.geoderma.2019.01.007

Gonzaga, G. B. M. Dinâmica da matéria orgânica do solo, estoques de carbono e susceptibilidade ao aumento da temperatura no semiárido de Alagoas. 2017. 151p. Tese (Doutorado em Agronomia em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo-AL, Brasil, 2017.

Hopkins, W.G. A new view of statistics. Middlesbrough:Internet Society for SportScience, 2016.

IPCC, 2013. Summary for policymakers. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to*

the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jolliffe, I.T., 2002. Principal Component Analysis, 2 Springer-Verlag, New York, USA.

Lal, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, v. 123, p. 1 – 22, 2004. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.01.032

Macêdo, M. L. A. de. Identificação de ambientes bioclimáticos na bacia hidrográfica do alto rio Paraíba. Tese de doutorado em Geografia - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brasil. 2020. 182p.

Medeiros, A. S. Fatores de mudança nos estoques de carbono do solo devido ao uso da terra no semiárido brasileiro. 2019. 144p. (Tese de doutorado) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo-AL, 2019.

Medeiros, A. S.; Ferraz, R. L. S.; Silva, T. S.; Silva, A. V. L.; Maia, S. M. F. Impact of converting areas cultivated with sugarcane to eucalypt plantations on soil quality in northeastern Brazil. *Revista Árvore*, v. 45, 2021. DOI: 10.1590/1806-908820210000017

Menezes, R. S. C.; Sales, A. T.; Costa Primo, D.; Albuquerque, E. R. G. M.; Jesus, K. N.; Pareyn, F. G. C.; ...; Sampaio, E. V. S. B. Soil and vegetation carbon stocks after land-use changes in a seasonally dry tropical forest. *Geoderma*, v. 390, 114943, 2021. DOI: 10.1016/j.geoderma.2021.114943

Molion, L.; C. B.; Bernardo, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas do Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 17, n. 1, p. 1-10. 2002.

Neves, C. M. N.; Silva, M. L. N., Curi, N.; Macedo, R. L. G.; Tokura, A. M. Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do Estado de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 28, n. 5, 2004. DOI: 10.1590/S1413-70542004000500010

Neves, L. V. M. W.; Fracetto, F. J. C., Fracetto, G. G. M.; Araújo Filho, J. C., Araujo, J. K. S.; Santos, J. C. B.; Mendes Júnior, J. P.; Souza Júnior, V. S. Microbial abundance and C and N stocks in tropical degraded Planosols from semiarid northeastern Brazil. *Catena*, v. 196, 2021. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104931

Ogle, S. M.; Breidt, F. J.; Paustian, K. Agricultural management impacts on soil organic carbono storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochemistry*, v. 72, n. 1, p. 87-121, 2005.

Oliveira, J. T.; Moreau, A. M. S. S.; Palva, A. Q.; Menezes, A. A.; Costa, O. V. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32 (spe), 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000700028

Paes-Silva, A. P.; Chaves, I. de B.; Sampaio, E. V. S. B. Cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Açude Namorado no cariri oriental paraibano. *Revista Agropecuária Técnica*, v. 24, n. 1, p. 47-59, 2003.

Paraíba. Governo do Estado - Secretaria de Agricultura e Abastecimento (CEPA) - PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-Eleto Consult Ltda. Dez. 1978. 448 p.

Paustian, K.; Lehmann, J.; Ogle, S.; Reay, D. Robertson, P.; Smith, P. Climate-smart soils. *Nature*, v. 532, p. 49 – 57, 2016. DOI: 10.1038/nature17174

Pegoraro, R. F.; Moreira, C. G.; Dias, D. G.; Silveira, T. C. Carbon and nitrogen stocks in the soil and humic substances of agricultural crops in the semi-arid region. *Revista Ciência Agronômica*, v. 49, n. 4, p. 574-583, 2018.

Raij, B. V. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. 2ª ed. Piracicaba: Instituto Agronômico de Campinas, 2017.

Resende, R. S.; Amorim, J. R. A.; Cruz, M. A. S.; Meneses, T. N. Distribuição espacial e lixiviação natural de sais em solos do Perímetro Irrigado Califórnia, em Sergipe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, (Suplemento), p.S46–S52, 2014.

Richards, L. A. (ed.). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington D.C./U.S. Salinity Laboratory. 1954. 160p.

Rosa, C. M.; Castilhos, R. M. V.; Pauletto, E. A.; Pillon, C. N.; Leal, O. dos A. Conteúdo de carbono orgânico em planossolo háplico sob sistemas de manejo do arroz irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 5, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000500031

Rosa, R.; Sano, E. E.; Rosendo, J. S.; Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do rio Paranaíba. *Sociedade & Natureza*, v. 26, n. 2, 2014. DOI: 10.1590/1982-451320140210

Rufino, D. C.; Diniz Neto, M. A.; Melo, T. de S.; Bandeira, L. B.; Silva, M. D. P. da .; Bulhões, L. A. de .; Diniz, B. L. M. T. .; Mesquita, E. F. Soil carbon stock in agroecosystems and secondary vegetation. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 11, p. e545111133840, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i11.33840.

Santana, M. S.; Sampaio, E. V. S. B.; Giongo, V.; Menezes, R. S. C.; Jesus, K. N.; Albuquerque, E. R. G. M.; Nascimento, D. M.; Pareyn, F. G. C.; Cunha, T. J. F.; Sampaio, R. M. B.; Costa Primo, D. Carbon and nitrogen stocks of soils under different land uses in Pernambuco state, Brazil. *Geoderma Regional*, v. 15, p. e00205, 2019. DOI: 10.1016/j.geodrs.2019.e00205

Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Lumbrreras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A.; Araujo Filho, J. C.; Oliveira, J. B.; Cunha, T. J. F. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília-DF: EMBRAPA, 5. ed. rev. e ampl., 2018.

Santos, M. O.; Barreto-Garcia, P. A. B., Monroe, P. H. M., Paula A. Effect of Caatinga forest management on organic carbon stock in soil aggregates. *Scientia Forestalis*, v. 49, n. 129, 2021. DOI: 10.18671/scifor.v49n129.16

Santos, T. O.; Fracetto, F. J. C.; Souza Júnior, V. S.; Araújo Filho, J. C.; Lira Júnior, M. A.; Mendes Júnior, J. P. M.; Siqueira Neto, M.; Silva, Y. R. O.; Barros, F. M. R.; Fracetto, G. G. M. Carbon and nitrogen stocks and microbial indicators in tropical semiarid degraded Luvisols. *Catena*, v. 210, 2022. DOI: 10.1016/j.catena.2021.105885

Santos, T.V.; Chaves, E.B.; Oliveira, F.M.C. Xerofitismo e suculência. *Revista Ciência Elementar*, v. 9, n. 2, 4p. 2021. DOI:10.24927/rce: 2020.043

Schulz, K.; Voigt, K.; Beusch, C.; Almeida-Cortez, J. C.; Kowarik, I. Walz, A. Cierjacks, A. Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. *Forest Ecology and Manegement*, v. 367, p. 62-70, 2016. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.02.011

Segnini, A.; Xavier, A. A. P.; Otaviani-Junior, P. L.; Oliveira, P. P. A.; Pedroso, A. de F.; Praes, M. F. F. M.; Rodrigues, P. H. M.; Milori, D. M. B. P. Soil carbon stock and humification in pastures under different levels of intensification in Brazil. *Scientia Agricola*, v. 76, n. 1, 2019. DOI: /10.1590/1678-992X-2017-0131

Silva, I.R.; Mendonça, E.S. Matéria orgânica do solo. In: Novais, R.F.; Alvarez V., V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1017.

Silva, P. C. G; Moura, M. S. B.; Kiill, L. H. P. Brito, L. T. de L. Pereira, L. A. SA, I. B. ... Guimarães Filho, C. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SA, I. B.; Silva, P. C. G. da. (Ed.). *Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação*. Petrolina: EMBRAPA Semiárido, Cap. 1, p. 18-48, 2010.

Siqueira Neto, M.; Piccolo, M. de C.; Scopel, E.; Costa Junior, C. da.; Cerri, C. C.; Bernoux, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 31, n. 4, 2009. DOI: /10.4025/actasciagron.v31i4.792

Souza, B. V.; Souto, P. C.; Souto, J. S.; Sales, F. C. V.; Souza Júnior, C. M. P. Carbo in Soil in different phisionomies of Caatinga in Paraíba, Brazil. *Floresta*, v. 49, n. 2, p. 287-296, 2019. DOI: /10.5380/rf.v49 i2.57579

Szakács, G. G. Estoques de carbono e agregados do solo cultivado com cana-de-açúcar: efeito da palhada e do clima no centro-sul do Brasil. 2007. 106p. (Tese de doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2007.

Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.

Tognon, A. A.; Demattê, J. L. I.; Demattê, J. A. M. Teor e distribuição da matéria orgânica em latossolos das regiões da floresta amazônica e dos cerrados do Brasil central. *Scientia Agricola*, v. 55, n. 3, 1998. DOI: /10.1590/S0103-90161998000300001

Tomaz, A. R. Estoque, recuperação e esgotamento de carbono em classes de agregados do solo em Caatinga em regeneração e agricultura de subsistência. 2021. 77p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2021.

Troian, D.; Rosset, J. S.; Martins, L. F. B. N.; Ozório, J. M. B.; Castilho, S. C. P.; Marra, L. M. Carbono orgânico e estoque de carbono do solo em diferentes sistemas de manejo. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 13, n.4, p. 1447-1469, 2020. DOI: 10.17765/2176-9168.2020v13n4p1447-1469

Varejão-Silva M.A.; Braga, C.C.; Aguiar M.J.N.; Nietzsche M.H.; Silva, B.B. (1984). Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba. 135p.

Vezzani, F.M.; Mielniczuk, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 1, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000100020

Wairegi, L.; van Asten, P. Norms for multivariate diagnosis of nutrient imbalance in the East African highland bananas (*Musa* spp. AAA). *Journal of Plant Nutrition*, v. 34, n. 10, p. 1453-1472, 2011.

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*, v. 30, n. 2, p. 247-258, 2006.

Zinn, Y. L.; Lal, R.; Resck, V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. *Soil & Tillage Research*, v. 84, p. 28–40, 2005.

## 8. ANEXO I

**Tabela 20** - Atributos químicos dos Vertissolos nos diferentes Pedoambientes, intensidade de uso e horizontes.

Ped.	I.U.	Hor.	pH 1:25 (água)	CE dS m <sup>-1</sup>	P mg kg <sup>-1</sup>	Al	H	H+Al	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	t	V	
						-----						cmol Kg <sup>-1</sup> -----				%
V1	P	AP	6,7	150,6	213,2	0,0	0,5	0,5	0,4	0,6	17,5	15,0	33,5	33,5	99	
		C1	7,0	94,4	143,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,9	23,9	18,6	44,7	44,7	100	
		C2	7,2	108,5	149,7	0,0	0,0	0,0	0,5	0,2	22,8	19,7	43,1	43,1	100	
	R	AP	7,1	106,1	186,9	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2	26,7	20,1	47,3	47,3	100	
		C1	7,1	106,0	231,7	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	27,9	19,1	47,6	47,6	100	
		C2	7,4	96,4	227,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	29,1	22,6	51,9	51,9	100	
		C3	7,5	94,5	261,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,1	26,5	20,7	47,8	47,8	100	
	M	A1	6,8	118,3	113,5	0,0	0,0	0,0	0,7	0,3	13,6	15,3	29,8	29,8	100	
		C1	7,2	112,8	87,7	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2	14,7	19,6	35,6	35,6	100	
		C2	7,6	163,3	96,4	0,0	0,0	0,0	2,2	0,1	14,7	21,4	38,4	38,4	100	
	V2	P	A1	8,3	190,1	102,8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,7	40,4	16,8	58,8	58,8	100
			C1	8,5	482,5	83,8	0,0	0,0	0,0	2,9	0,5	33,7	22,0	59,1	59,1	100
C2			8,5	1057,0	71,4	0,0	0,0	0,0	7,1	0,7	30,3	24,2	62,2	62,2	100	
R		A1	7,1	140,9	11,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,2	19,1	14,1	34,1	34,1	100	
		C1	7,5	109,1	2,8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,1	17,2	14,0	32,3	32,3	100	
		C2	7,7	164,2	3,8	0,0	0,0	0,0	1,4	0,1	16,4	17,2	35,0	35,0	100	
M		A1	6,8	144,6	2,3	0,0	1,4	1,4	0,9	0,1	22,8	21,5	45,4	45,4	97	
		C1	7,4	158,5	4,5	0,0	0,0	0,0	2,5	0,1	23,1	22,1	47,8	47,8	100	
		CR	7,7	265,0	111,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,1	29,2	25,7	58,3	58,3	100	
V3		P	A1	7,1	132,7	3,8	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1	16,9	13,9	31,4	31,4	100
			C1	7,2	493,3	3,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,1	19,3	15,7	35,8	35,8	100
			AP	7,5	106,3	7,2	0,0	0,0	0,0	3,3	0,4	22,9	13,3	39,8	39,8	100
	R	C1	7,4	395,3	4,5	0,0	0,0	0,0	1,0	0,1	22,4	15,0	38,4	38,4	100	
		C2	7,6	164,9	3,5	0,0	0,0	0,0	1,1	0,1	21,2	14,0	36,4	36,4	100	
	M	A1	7,5	329,8	3,5	0,0	0,0	0,0	2,3	0,2	12,5	13,7	28,6	28,6	100	
		C1	7,6	662,6	3,8	0,0	0,0	0,0	2,7	0,1	12,9	14,6	30,2	30,2	100	

Ped. = Pedoambientes; I.U. = intensidade de uso; Hor. = Horizonte diagnóstico; CE = condutividade elétrica; t = capacidade de troca catiônica efetiva; R = roçado; P = pastagem; M = mata; VT1 = Vertissolo de Galante; VT2 = Vertissolo de Queimadas; VT3 = Vertissolo de Cabaceiras.

**Tabela 21** - Atributos químicos dos Planossolos nos diferentes Pedoambientes, intensidade de uso e horizontes.

Ped.	Uso	Hor.	pH	CE	P	Al	H	H+Al	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	t	V
			1:25 (água)	dS m <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	----- cmol Kg <sup>-1</sup> -----							%		
S1	P	A1	5,4	154,7	7,2	0,4	0,2	0,6	0,3	0,6	0,9	1,4	3,2	3,6	83
		A3	5,8	67,9	7,0	0,4	1,0	1,4	0,1	0,1	1,1	1,4	2,7	3,1	67
		BT	6,2	715,6	5,8	0,2	0,7	0,9	3,3	0,8	3,5	7,4	15,0	15,2	94
	R	AP	6,1	132,8	24,5	0,2	0,9	1,1	0,2	0,7	2,7	2,9	6,5	6,7	86
		E	6,4	86,6	16,1	0,2	0,5	0,7	0,1	0,3	2,4	2,3	5,1	5,3	88
		BT	6,4	840,6	5,1	0,4	1,1	1,5	3,0	0,5	5,3	10,4	19,2	19,6	93
	M	A1	6,0	63,4	11,3	0,4	0,7	1,1	0,1	0,3	1,4	1,0	2,7	3,1	71
		A3	5,7	159,7	9,9	0,4	0,0	0,4	0,2	0,1	1,4	1,4	3,2	3,6	88
		BT	6,0	648,2	4,8	0,6	1,1	1,7	2,2	0,1	5,5	8,1	15,8	16,4	90
S2	P	A11	5,1	586,5	3,3	0,1	2,0	2,1	0,6	0,8	1,3	1,7	4,3	4,4	67
		A12	5,1	149,2	0,4	0,3	3,1	3,5	0,4	0,1	1,1	1,8	3,3	3,7	49
		B	5,1	201,3	7,7	0,2	3,2	3,3	1,2	0,1	2,3	6,8	10,4	10,6	76
	R	Ap	5,5	202,0	4,3	0,0	1,1	1,1	0,3	0,3	1,6	2,3	4,5	4,5	80
		A2	5,0	357,4	0,9	0,1	1,7	1,8	0,5	0,2	1,3	1,2	3,2	3,2	64
		B21	5,1	151,6	0,9	0,2	2,5	2,7	0,5	0,1	1,0	2,6	4,2	4,4	61
		B22	5,1	193,9	6,5	0,2	2,0	2,2	0,7	0,1	1,4	4,9	7,0	7,2	76
	M	A11	5,3	398,6	2,6	0,1	4,6	4,7	0,5	0,5	4,4	1,9	7,3	7,4	61
		A12	5,3	197,2	7,2	0,2	4,2	4,3	0,3	0,5	3,5	2,1	6,4	6,6	60
		E	5,3	133,0	1,8	0,1	2,9	3,1	0,5	0,2	2,8	2,4	5,9	6,0	66
		Bt	5,4	314,0	1,1	0,2	3,1	3,3	4,5	0,1	3,3	12,4	20,3	20,5	86
	S3	P	A1	5,8	415,8	23,8	0,2	0,3	0,5	1,1	0,5	2,0	2,1	5,6	5,8
BT			6,6	497,6	6,7	0,0	0,2	0,2	2,8	0,2	4,6	5,7	13,5	13,5	99
R		AP	7,5	179,2	98,9	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7	5,4	3,2	9,5	9,5	100
		A3	7,2	90,3	10,8	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	1,5	2,6	5,0	5,0	100
		BT	5,8	311,9	5,3	0,6	1,5	2,1	1,7	0,1	3,2	6,6	11,6	12,2	84
M		A	5,0	76,7	8,7	1,0	2,7	3,7	0,1	0,1	1,3	1,2	2,8	3,8	42
		E	5,7	80,5	11,3	0,6	1,0	1,6	0,3	0,1	0,8	1,4	2,6	3,2	62
		B	6,0	273,7	6,0	0,4	0,0	0,4	2,2	0,0	0,8	3,9	6,9	7,3	94

Ped. = Pedoambientes; I.U. = intensidade de uso; Hor. = Horizonte diagnóstico; CE = condutividade elétrica; t = capacidade de troca catiônica efetiva; R = roçado; P = pastagem; M = mata; PL1 = Planossolo de Barra de Santana; PL2 = Planossolo de Campina Grande; PL3 = Planossolo de Pocinhos.

**Tabela 22** - Atributos químicos dos Luvisolos nos diferentes Pedoambientes, intensidade de uso e horizontes.

Ped.	Uso	Hor.	pH 1:25 (água)	CE dS m <sup>-1</sup>	P mg kg <sup>-1</sup>	Al	H	H+Al	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	t	V %
									----- cmol Kg <sup>-1</sup> -----						
T1	P	AP	6,1	160,0	12,0	3,2	0,3	0,5	0,3	0,7	4,7	2,9	8,5	8,7	95
		BT	7,0	161,4	10,1	0,0	0,0	0,0	2,1	0,2	16,0	9,9	28,2	28,2	100
	R	AP	6,4	80,2	7,5	0,2	0,9	1,1	0,2	0,2	6,9	4,3	11,6	11,8	92
		BT	6,8	111,8	9,6	0,0	0,0	0,0	1,2	0,1	16,7	9,0	27,0	27,0	100
	M	A1	6,1	202,6	6,7	0,4	0,1	0,5	0,4	0,2	3,5	1,9	6,0	6,4	92
		BT	6,4	630,0	9,1	0,4	0,4	0,8	4,0	0,1	8,8	11,6	24,5	24,9	97
T2	P	A1	6,2	165,2	6,0	0,2	0,4	0,6	0,3	0,7	2,9	1,6	5,4	5,6	90
		A3	6,6	75,8	8,4	0,0	0,2	0,2	0,2	0,1	4,8	2,9	8,0	8,0	98
		BT	7,0	137,2	6,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,1	12,6	13,6	27,6	27,6	100
	R	A1	7,2	146,7	101,8	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	8,9	6,1	16,0	16,0	100
		BT	7,7	107,9	8,4	0,0	0,0	0,0	0,5	0,2	17,4	17,1	35,2	35,2	100
	M	A1	6,5	81,0	11,1	0,0	0,7	0,7	0,1	0,3	5,4	3,5	9,2	9,2	93
BT		7,0	117,3	17,1	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2	11,2	20,3	32,8	32,8	100	
T3	P	A1	7,5	110,5	69,6	0,0	0,0	0,0	0,2	1,8	5,7	3,2	11,0	11,0	100
		BT	7,6	120,2	20,7	0,0	0,0	0,0	0,7	2,0	11,7	5,0	19,4	19,4	100
		BC	7,6	311,8	12,3	0,0	0,0	0,0	0,6	1,4	13,3	5,7	21,1	21,1	100
	R	AP	6,5	77,3	7,5	0,2	1,4	1,6	0,1	0,4	5,2	3,5	9,3	9,5	85
		BT	6,5	82,3	4,8	0,4	0,9	1,3	0,2	0,3	7,9	3,4	11,8	12,2	90
		BC	6,3	64,5	4,8	0,4	1,5	1,9	0,3	0,2	9,0	7,3	16,7	17,1	90
M	A1	6,6	122,0	9,6	0,0	0,3	0,3	0,1	0,9	7,5	3,2	11,7	11,7	98	
	BT	6,4	70,6	5,1	0,4	1,9	2,3	0,1	0,3	8,4	6,9	15,7	16,1	87	
	BC	6,5	99,2	5,1	0,4	1,7	2,1	0,3	0,3	9,7	11,4	21,7	22,1	91	

Ped. = Pedoambientes; I.U. = intensidade de uso; Hor. = Horizonte diagnóstico; CE = condutividade elétrica; t = capacidade de troca catiônica efetiva; R = roçado; P = pastagem; M = mata; LV1 – Luvisolo de Boa Vista; LV2 = Luvisolo de Serra Branca; LV3 = Luvisolo de Amparo.

## 9. ANEXO II

Estimativa de valores de estoques de carbono para perfis de diferentes classes de solo do estado da Paraíba calculados a partir dos dados boletins de solo do Estado da Paraíba (SUDENE, 1972) e (AESAs, 1978). Cada tabela equivale a um perfil identificado pela letra “P” seguido de números referentes ao perfil encontrado no Boletim.

### 9.1. Vertissolos

**Tabela 23** - P90 – Vertissolo com A Chernozêmico, C carbonático, fase caatinga hipoxerófila e relevo suave ondulado. Umbuzeiro (Cecília) – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura	CO (g/Kg)	N ---- % ----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A11	0 - 37	37	17,4	0,14	3	1,33	2,55	85,62	2314
A12	37 - 62	25	3,6	0,05	0,63	1,43	2,7	12,87	515
C1	62 - 118	56	2,8	-	-	1,31	2,64	20,4	367
C2	118 - 130	22	n	-	-	-	-	-	-
R	130+	-	-	-	-	-	-	-	-
Total								118,9	

**Tabela 24** - P91 - Vertissolo com A moderado, fase caatinga hipoxerófila e relevo suave ondulado. Queimadas/Boqueirão a 8,5 Km – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura	CO (g/Kg)	N ---- % ----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
Ap	0 - 16	16	7,8	0,07	1,34	1,87	2,72	23,34	1459
C1	16 - 54	38	3,8	0,05	0,66	1,91	2,81	27,58	760
C2	54 - 75	21	2,6	0,04	0,45	2,07	2,91	11,3	538
Total								62,22	

**Tabela 25** - P92 - Vertissolo com A moderado, fase caatinga hipoxerófila e relevo suave ondulado. Barra Santana (Após 8 Km do rio Paraíba) – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura	CO (g/Kg)	N ---- % ----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1	0 - 16	16	12,1	0,11	2,1	1,71	2,65	33,11	2069
C1	16 - 33	17	4,3	0,06	n	1,87	2,7	13,67	804
C2	33 - 61	28	3,1	0,05	n	1,93	2,73	16,75	598
Total								63,53	

**Tabela 26** - P95 - Vertissolo com A moderado, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. São Domingos – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1	0 - 7	7	8,2	0,08	1,42	1,79	2,74	10,27	1468
C1	7 - 25	18	4	0,06	0,69	1,85	2,76	13,32	740
C2	25 - 50	25	3,1	0,05	0,54	1,81	2,77	14,02	561
C3	50 - 70	20	3	0,05	0,5	1,92	2,79	11,52	576
Total								49,15	

**Tabela 27** - P38/72 – Vertissolo, fase floresta caducifólia e relevo ondulado. Campina Grande (distrito de Galante) – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
Ap	0 - 15	15	6,5	0,08	1,12	1,75	*	17,06	1137
C1	15 - 70	55	6,1	0,07	1,05	1,85	*	62,07	1128
C2	70 - 85	15	2,8	0,04	0,48	1,92	*	8,06	537
R	85 - 130	45	-	-	-	-	-	-	-
Total								87,19	

**Tabela 28** - P39/72 - Vertissolo fase caatinga hipoxerófila relevo suave ondulado. Queimadas a 8,5 Km para Boqueirão - PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1	0 - 10	10	12,4	0,13	2,14	1,72	*	21,32	2133
C1	10 - 60	50	7	0,07	1,21	1,89	*	66,15	1323
C2	60 - 95	35	3,4	0,04	0,59	1,95	*	23,205	663
Total								110,69	

**Tabela 29** - P40/72 - Vertissolo fase caatinga hiperxerófila relevo plano. Souza a Cajazeiras 13,2 Km. Souza - PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
Ap	0 - 5	5	5,1	0,06	0,879	1,65	*	3,82	766
C1	5 - 50	45	3,9	0,05	0,672	1,76	*	30,88	686
C2	50 - 100	50	3,4	0,04	0,586	1,85	*	31,45	629
Total								66,163	

**Tabela 30** - P41/72 - Vertissolo fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado. Sumé-Coxicola - PB

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	Espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1	0 - 4	4	15,3	0,16	2,64	1,71	*	10,46	2616
IIC1	4 - 25	21	6,5	0,05	1,12	1,87	*	25,52	1215
IIC2	25 - 65	40	5,1	0,04	0,88	1,93	*	39,37	984
IIC3	65 - 90	25	3,2	0,03	0,55	2,11	*	16,88	675
Total								92,242	

## 9.2. Planossolos

**Tabela 31** - P79/78 - Planossolo Solódico Eutrófico Ta, com A fraco, textura argilosa, fase caatinga hipoxerófila e relevo suave ondulado. Belém/Tacima – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
Ap	0-11	11	10,8	0,08	1,86	1,59	2,61	18,88	1717
A12	11-39	28	4,2	0,04	0,72	2,05	2,68	24,10	861
A2	39-53	14	2,8	0,04	0,48	1,81	2,69	7,10	507
IIB2t	53 - 82	29	1,5	-	-	1,68	2,64	7,31	252
Total								57,41	

**Tabela 32** - P82/78 - Planossolo Solódico Eutrófico Ta, com A moderado, textura média, fase floresta caducifólia e relevo suave ondulado. Araçagi – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1p	0 - 20	20	8,6	0,08	1,5	1,58	2,61	27,17	1359
A2	20 - 34	14	2,9	0,03	0,5	1,5	2,63	8,70	621
IIB1t	34 - 57	23	2,5	0,03	0,43	1,91	2,7	10,98	477
IIB2t	57 - 88	31	1,5	n	n	1,84	2,67	8,56	276
Total								55,41	

**Tabela 33** - P84/78 - Planossolo Solódico Eutrófico Ta, com A moderado, textura média, fase caatinga hipoxerófila e relevo plano suave ondulado. Caiçara/Belém – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1p	0-26	26	5,3	0,06	0,9	1,55	2,7	21,36	821
A2	26 - 52	26	2,1	0,03	0,36	1,72	2,67	9,39	361
IIB2t	52 - 64	12	1,6	0,03	0,28	1,93	2,71	3,71	309
Total								34,46	

**Tabela 34** - P85/78 - Planossolo Solódico Eutrófico Ta, com A moderado, textura média, fase caatinga hipoxerófila e relevo suave ondulado. Remígio – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
Ap	0 -10	10	9,8	0,08	1,8	1,87	2,65	18,33	1833
A2	10 - 30	20	2,8	0,04	0,5	1,9	2,66	10,64	532
B2t	30 - 60	30	1,8	0,03	0,3	1,97	2,67	10,64	355
C/R	~60+	Material semi intemperizado			-	-	-	-	-
Total								39,61	

**Tabela 35** - P43/72 - Planossolo Solódico Eutrófico Ta, com A moderado, textura média, fase caatinga hiperxerófila e relevo plano suave ondulado. Cubatí - PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1	0 - 17	17	7,2	0,06	1,24	1,65	-	20,19	1188
IIBt	17 - 50	33	5,8	0,06	1	1,85	-	35,41	1071
IIC	50 - 70	20	2,3	0,03	0,39	1,95	-	08,97	448
IIR	70+	-	-	-	-	-	-	-	-
Total								64,58	

**Tabela 36** - P44/72 - Planossolo Solódico Eutrófico Ta, com A moderado, textura média, fase caatinga hiperxerófila e relevo plano e suave ondulado. Boa Vista – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1	0 -17	17	7,9	0,07	1,36	1,65	-	22,15	1303
IIBt	17 - 35	18	3,3	0,03	0,57	1,85	-	10,99	610
IIC1	35 - 85	50	1,5	0,02	0,26	1,95	-	14,62	292
IIC2	85 - 90	10	-	-	-	-	-	-	-
Total								47,77	

**Tabela 37** - P45/72 - Planossolo Solódico Eutrófico, textura arenosa, fase caatinga hiperxerófila e relevo plano. Uirauna – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1	0 - 25	25	4,3	0,04	0,74	1,65	-	17,74	710
Bt	25 - 85	60	0,9	0,02	0,16	1,95	-	10,53	175
Total								28,27	

### 9.3. Luvisolos (Bruno não cálcico)

**Tabela 38** - P50 - Bruno Não Cálcico planossólico com A moderado, textura argilosa, fase floresta caducifólia e relevo suave ondulado. Sapé – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A11	0-15	15	10,5	0,09	1,81	1,73	2,63	27,24	1820
A12	15-36	21	6,1	0,07	1	1,76	2,67	22,54	1070
IIB2t	36-57	21	4,3	0,06	0,07	1,72	2,75	15,53	740
Total								65,32	

**Tabela 39** - P51 - Bruno Não Cálcico planossólico com A moderado, textura argilosa, fase floresta caducifólia e relevo suave ondulado. Sapé/Mamanguape – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
Ap	0-22	22	7,3	0,08	1,26	1,78	2,71	28,58	1290
IIB2t	22-46	24	5,1	0,06	0,88	1,9	2,76	23,25	970
Total								51,84	

**Tabela 40** - P61 - Bruno Não Cálcico com A fraco, textura média, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. Marizópolis/Cajazeiras – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1	0-10	10	6,5	0,05	1,12	1,83	2,63	11,89	1191
B2t	10-60	50	6	0,05	1,03	1,62	2,63	48,6	972
Total								60,49	

**Tabela 41** - P56 - Bruno Não Cálcico com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. Catolé do Rocha – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1	0-15	15	5,1	0,04	0,88	1,76	2,65	13,46	890
B2t	15-55	40	4,2		0,72	1,68	2,72	28,22	705
Total								41,68	

**Tabela 42** - P57 - Bruno Não Cálcico com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. Jericó – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1	0-20	20	3,9	0,04	0,67	1,84	2,77	14,35	718
IIB2t	20-50	30	3,7	0,04	0,64	1,84	2,79	20,42	681
Total								34,77	

**Tabela 43** - P58 - Bruno Não Cálculo com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. Catolé do Rocha/Jericó – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm	espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- %	MO -----	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1	0-20	20	6,7	0,06	1,15	1,56	2,63	20,90	1045
IIB2t	20-40	20	3,2	0,05	0,55	1,88	2,73	12,03	601
IIB3t/C	40-60	20	1,8	0,03	0,55	1,88	2,7	6,76	338
Total								39,70	

**Tabela 44** - P60 - Bruno Não Cálculo com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. São Bento/Coremas – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm	espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- %	MO -----	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1	0-15	15	10	0,04	1,7	1,69	2,67	25,35	1691
IIB2t	15-43	28	4	0,05	0,86	1,58	2,68	17,69	632
Total								43,04	

**Tabela 45** - P63 - Bruno Não Cálculo vértico com A moderado, textura argilosa, fase pedregosa caatinga hipoxerófila e relevo ondulado. Campina Grande (Galante) – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm	espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- %	MO -----	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
Ap	0-10	10	13	0,14	2,24	2,03	2,67	26,39	1793
A3	10-28	18	5,6	0,07	0,57	1,69	2,73	17,03	947
IIB2t	28-45	17	5	0,07	0,86	1,07	2,87	9,09	535
Total								52,52	

**Tabela 46** - P64 - Bruno Não Cálculo vértico com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. São José/Jardim Piranhas – RN.

Horizonte	Profundidade ----- cm	espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- %	MO -----	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1	0-15	15	5,3	0,05	0,9	1,82	2,65	14,46	965
IIB2t	15-55	40	3,8	0,04	0,65	1,84	2,7	27,96	699
Total								42,43	

**Tabela 47** - P67 - Bruno Não Cálculo vértico com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa caatinga hiperxerófila. Belém Brejo Cruz/Patú – RN.

Horizonte	Profundidade ----- cm	espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- %	MO -----	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1	0 - 10	10	6,3	0,07	1,1	1,73	2,69	10,89	1090
B2t	10 - 25	15	4,2	0,05	0,72	1,94	2,7	12,80	853
B3t	25 - 55	30	2,4	0,04	0,41	1,94	2,67	13,96	465
Total								37,67	

**Tabela 48** - P68 - Bruno Não Cálculo vértico com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo ondulado. Montadas/Barra de Sta Rosa – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO -----	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1	0 - 6	6	8,7	0,08	1,5	1,85	2,69	9,65	1609
IIBt2	6 - 25	9	5,7	0,06	0,98	1,88	2,67	9,64	1702
IIBt3	25 - 50	25	2,2	0,03	0,4	1,91	2,7	10,50	420
IIC	50 - 58	-	-	-	-	1,91	2,69	-	-
Total								29,81	

**Tabela 49** - P74 - Bruno Não Cálculo vértico com A fraco, textura argilosa, caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. Sumé – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO -----	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1	0 - 10	10	7,2	0,08	1,24	1,74	2,71	12,5	1250
B2t	10 - 50	40	4,2	0,05	0,12	1,8	2,73	30,24	313
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total								42,74	

**Tabela 50** - P70 - Bruno Não Cálculo vértico com A fraco, textura média, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. Barra de Sta Rosa – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO -----	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
Ap	0-16	16	4,2	0,06	0,72	1,66	2,67	11,15	697
A3	16-31	15	2,9	0,05	0,5	1,58	2,68	6,873	458
B1t	31-49	18	2,9	0,05	0,5	1,94	2,69	10,12	563
B2t	49-67	18	2,5	0,04	0,43	1,94	2,69	8,73	485
B3t	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total								36,88	

**Tabela 51** - P71 - Bruno Não Cálculo vértico com A fraco, textura média com cascalho, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. Juazeirinho – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO -----	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1	0 - 10	10	3,2	0,04	0,55	1,83	2,63	5,85	586
IIB2t	10 - 55	45	1,9	0,03	0,33	1,94	2,68	16,58	921
Total								22,45	

**Tabela 52** - P72 - Bruno Não Cálculo vértico com A fraco, textura média, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. S. J. Espinharas – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO -----	Da	Dr	Estoque de C (Mg/ha) (Kg/ha/cm)	
A1	0 - 15	15	4,5	0,04	0,77	1,74	2,69	11,74	830
B2t	15 - 50	35	4	0,04	0,69	1,78	2,75	24,92	712
C	50 - 60+	10	-	-	-	-	-	-	-
Total								36,67	

**Tabela 53** - P75 - Bruno Não Cálculo vértico com A fraco, textura média, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo ondulado. Barra de Sta. Rosa/Pocinhos – PB.

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	espessura -----	CO (g/Kg)	N ----- % -----	MO -----	Da	Dr	Estoque de C	
								(Mg/ha)	(Kg/ha/cm)
A1	0 -7	7	6	0,09	1,03	1,82	2,65	7,64	1000
IIB2t	7-30	23	5	0,06	0,86	1,84	2,7	21,16	920
IIB3t	30 - 64	34	2,5	-	-	1,85	2,68	15,78	462
IIC	64 - 70+	6	-	-	-	-	-	-	-
Total								44,58	

## 10. ANEXO III



**Figura 24** - Anéis volumétricos antes de serem inseridos na camada subsuperficial.



**Figura 27** - Perfil de Luvisolo aberto em área de Pastagem no município de Boa Vista-PB.



**Figura 25** - Anéis volumétricos inseridos em perfil subsuperficial.



**Figura 28** - Perfil de Vertissolo em área de Mata no município de Cabaceiras-PB.



**Figura 26** - Ponto de coleta contendo amostras de repetição com material de diferentes profundidades em área de Roçado no município de Campina Grande-PB.



**Figura 29** - Perfil de Planossolo em área de Pastagem no município de Campina Grande-PB.



**Figura 30** - Perfil de Luvissole em área de Mata no município de Amparo-PB.



**Figura 32** - Perfil de Vertissolo em área de Pastagem no município de Queimadas-PB.



**Figura 31** - Perfil de Luvissole em área de Pastagem no município de Boa Vista.



**Figura 33** - Perfil de Luvissole em área de Pastagem no município de Serra Branca-PB.