



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

LEANDRO CORRÊA PEREIRA

**SERVIÇO ECOSISTÊMICO DO SOLO DE ESTOQUE DE CARBONO E
PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA**

AREIA

2024

LEANDRO CORRÊA PEREIRA

**SERVIÇO ECOSISTÊMICO DO SOLO DE ESTOQUE DE CARBONO E
PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-
Graduação em Ciência do Solo para obtenção
do título de Mestre, Área de concentração:
Solos em Ecossistemas Agrícolas e Naturais

Prof. Dr. Raphael Moreira de Beirigo
Orientador

Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias
Coorientador

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

P436s Pereira, Leandro Corrêa.

Serviço ecossistêmico do solo de estoque de carbono e plano de segurança da água / Leandro Corrêa Pereira.
- Areia:UFPB/CCA, 2024.

97 f. : il.

Orientação: Raphael Moreira Beirigo.
Coorientação: Bruno de Oliveira Dias.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Ciência do Solo. 2. Segurança hídrica. 3. Saúde de qualidade. 4. Água potável e saneamento. I. Beirigo, Raphael Moreira. II. Dias, Bruno de Oliveira. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631.4(043.3)

LEANDRO CORRÊA PEREIRA

**SERVIÇO ECOSISTÊMICO DO SOLO DE ESTOQUE DE CARBONO E
PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo

Aprovado em 29 de fevereiro de 2024

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Raphael Moreira Beirigo
Orientador
DSER/CCA/UFPB



Prof. Dr. Milton César Costa Campos
Examinador
DSER/CCA/UFPB



Dr. Renato Francisco da Silva Souza
Examinador
UFAM/IEAA

DEDICATÓRIA

*A minha avó Josefa Hortelina da Silva (Dedinha), aos meus filhos Cecília e Leandro
Filho e esposa Maria Valdenice.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias - CCA da Universidade Federal da Paraíba – UFPB pela oportunidade de participar deste processo de ensino e aprendizagem, que possibilitou o meu crescimento profissional e pessoal.

A minha família: Maria Valdenice Pereira Soares, Cecília Soares Corrêa e Leandro Corrêa Pereira Filho que tanto amo, agradeço pela confiança, força e apoio que me deram durante toda essa jornada. Obrigado por tudo, sem vocês eu não teria conseguido!

A Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) e a Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba pelas bolsas de estudo durante o período do mestrado.

Aos laboratórios Análise de Tecido Vegetal e Microbiologia do Solo e Água do Departamento de Solos e Engenharia Rural da Universidade Federal da Paraíba, nas pessoas do Prof. Dr. Adailson Pereira de Sousa e aos técnicos: Fábio Feitosa Pachêco do Laboratório de Análise de Tecido Vegetal e a Flavio Cruz do Laboratório de Microbiologia do Solo e Água, por terem disponibilizado todo apoio pessoal e de infraestrutura para realização das análises da MOS.

Ao Professor Raphael Moreira Beirigo, por ter me orientado durante a realização do mestrado, o qual sempre terei grande admiração pela sua competência e pelo excelente profissional que é, agradeço por sua parceria, confiança, dedicação, ensinamentos e por todas as oportunidades a mim concedidas durante a execução dos trabalhos. Gratidão!

Aos meus irmãos: Glaucia Juliana Corrêa Pereira; Josiane Silva Corrêa e José Alves de Oliveira Junior, que sempre tiveram ao meu lado. Amo vocês!

Aos meus colegas, em especial: Diego Melo, Thalita Silva, Emanuel da Costa, Valter Silva, Helder Windson Gomes e Franciane Araújo, os quais levarei comigo para toda vida. Muito obrigado, pela amizade, incentivo, parceria nos estudos, convivência, conversas e momentos de descontração.

E por fim, agradeço a DEUS!, por minha fé, por ter me concedido forças, paciência e por ter me guiado da melhor forma durante esse período, me protegendo em todos os momentos. Sem Ele, não seríamos nada.

E agradeço, finalmente, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram com a execução da minha pesquisa.

A palavra de ordem é gratidão!

RESUMO GERAL

PEREIRA, LEANDRO CORRÊA. **Serviço ecossistêmico do solo de estoque de carbono e plano de segurança da água.** Areia – PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB. Fevereiro 2024. 97p. il. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo. Orientador: Raphael Moreira Beirigo. Coorientador: Bruno de Oliveira Dias.

O sistema solo é um importante compartimento de estoque de carbono, tendo esse serviço ecossistêmico papel primordial no balanço dos gases do efeito estufa. Outro serviço ecossistêmico (SES) que dependemos são os relacionados ao ciclo da água, como os de provisionamento, regulação, suporte e culturais. Esses SES devem ser avaliados na elaboração dos Planos de Segurança da Água (PSA) em sistemas com captação de poços tipo freático ou reservatórios superficiais. A análise dos solos fornece-nos dados sobre a regulação e retenção de água no ambiente, essencial para complementar a metodologia dos PSAs, que visam analisar os riscos e perigos sobre as fontes de abastecimento de que ameaçam a qualidade e quantidade deste recurso natural para a população. O conhecimento sobre as classes de solo, cobertura/uso e manejo do solo e a quantificação do estoque de C nas cidades de Alagoinha, Curral de Cima, Itapororoca e Riachão do Poço no estado da Paraíba, fortaleceu a metodologia do PSA, pois com a avaliação quantitativa e qualitativa foi possível entender que boas práticas de preservação ambiental influem no estoque de carbono no solo, sendo este estoque condicionador ambiental que promove a retenção e regulação da água nos sistemas por melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Nas cidades estudadas foram abertos entre 3 (três) a 7 (sete) perfis onde foi realizada a coleta das amostras por perfil pedogenético e camadas fixas de 10cm, para caracterização morfológica, física e química com ênfase no estoque de carbono. Os perfis correspondentes a cidade de Alagoinha apresentaram estoque de carbono - EC variando entre 36 à 403 Mg ha⁻¹ nos horizontes pedogenéticos e de 0,5 à 6 Mg ha⁻¹ nas camadas fixas, o EC de Curral de Cima teve variação entre 2 à 61 Mg ha⁻¹ nos horizontes e de 0,5 à 15 Mg ha⁻¹ nas camadas fixas, o EC de Itapororoca variou entre 8,9 à 96 Mg ha⁻¹ nos horizontes e de 4,4 à 15 Mg ha⁻¹ nas camadas fixas e o EC de Riachão do Poço teve variação de 9,5 à 178 Mg ha⁻¹ nos horizontes e de 0,7 à 19 Mg ha⁻¹ nas camadas fixas. Com base nestes valores, as cidades estudadas apresentaram potencial de valoração ambiental e econômica, podendo ser implementado nestes municípios projetos para a aquisição de créditos de carbono, ficando entendido a importância de avaliar os solos sobre o serviço ecossistêmico de estoque de carbono sendo este serviço condicionador do ambiente e de manutenção a vida, pois o solo é o principal estratificador ecológico e fontes dos principais serviços ecossistêmicos.

Palavras-chave: Segurança hídrica; saúde de qualidade; água potável e saneamento; cidades e comunidades sustentáveis; ação climática; proteger a vida terrestre.

GENERAL ABSTRACT

PEREIRA, LEANDRO CORRÊA. **Soil ecosystem service of carbon stock and water safety plan**. Areia – PB. Centro de Ciências Agrárias, UFPB. February of 2024. 97 p. il. Dessertation. Programa de Pós-Graduação de Ciências do Solo. advisor: Raphael Moreira Beirigo. Co-advisor: Bruno de Oliveira Dias.

The soil system is an important carbon storage compartment, with this ecosystem service playing a key role in the balance of greenhouse gases. Another ecosystem service (SES) that we depend on are those related to the water cycle, such as provisioning, regulation, support and cultural services. These SES must be evaluated when preparing Water Safety Plans (PSA) in systems with collection from groundwater wells or surface reservoirs. Soil analysis provides us with data on the regulation and retention of water in the environment, essential to complement the PSAs methodology, which aims to analyze the risks and dangers on supply sources that threaten the quality and quantity of this natural resource for the population. Knowledge of soil classes, soil cover/use and management and the quantification of the C stock in the cities of Alagoinha, Curral de Cima, Itapororoca and Riachão do Poço in the state of Paraíba strengthened the PES methodology, because with the quantitative and qualitative assessment it was possible to understand that good environmental preservation practices influence the carbon stock in the soil, this stock being an environmental conditioner that promotes the retention and regulation of water in the systems by improving the physical, chemical and biological attributes of the soil. In the cities studied, between 3 (three) and 7 (seven) profiles were opened where samples were collected by pedogenetic profile and fixed layers of 10cm, for morphological, physical and chemical characterization with an emphasis on carbon stock. The profiles corresponding to the town of Alagoinha showed a carbon stock - CE ranging from 36 to 403 Mg ha⁻¹ in the pedogenetic horizons and from 0.5 to 6 Mg ha⁻¹ in the fixed layers, the CE of Curral de Cima ranged from 2 to 61 Mg ha⁻¹ in the horizons and from 0, 5 to 15 Mg ha⁻¹ in the fixed layers, the CE of Itapororoca ranged from 8.9 to 96 Mg ha⁻¹ in the horizons and from 4.4 to 15 Mg ha⁻¹ in the fixed layers and the CE of Riachão do Poço ranged from 9.5 to 178 Mg ha⁻¹ in the horizons and from 0.7 to 19 Mg ha⁻¹ in the fixed layers. Based on these values, the cities studied showed potential for environmental and economic valuation, and projects for the acquisition of carbon credits could be implemented in these municipalities. The importance of evaluating soils in terms of the ecosystem service of carbon stock is understood, as this service conditions the environment and maintains life, since soil is the main ecological stratifier and source of the main ecosystem services.

Keywords: Water security; quality healthcare; drinking water and sanitation; sustainable cities and communities; climate action; protect life on Earth.

LISTA DE FIGURAS

Figura. 1 - Simplificação do esquema do ciclo do carbono terrestre entre a atmosfera, as plantas e o solo.....	15
Figura. 2 - Vias de formação das substâncias húmicas.....	17
Figura. 3 - Mapa da Paraíba e municípios do PSA.....	35
Figura. 4 - Mapa geológico de solos de Alagoinha-PB.....	38
Figura. 5 - Mapa geológico de solos de Curral de Cima-PB.....	40
Figura. 6 - Mapa geológico de solos de Itapororoca-PB.....	42
Figura. 7 - Mapa geológico de solos de Riachão do Poço-PB.....	44
Figura. 8 – Mapa de solos de Alagoinha e localização dos pontos de coleta	47
Figura. 9 – Mapa de solos de Curral de Cima e localização dos pontos de coleta	48
Figura. 10 – Mapa de solos de Itapororoca e localização dos pontos de coleta.....	49
Figura. 11 – Mapa de solo de Riachão do Poço e localização dos pontos de coleta.....	50
Figura. 12 – Mapa de localização dos municípios de Alagoinha, Curral de Cima, Itapororoca e Riachão do Poço.....	61
Figura. 13 - Estoque de carbono no perfil Neossolo Litólico.....	72
Figura. 14 - Estoque de carbono no perfil Neossolo Litólico.....	73
Figura. 15 - Estoque de carbono no perfil Cambissolo Háplico.....	74
Figura. 16 - Estoque de carbono no perfil Luvisolo Crômoco.....	75
Figura. 17 - Estoque de carbono no perfil Argissolo Vermelho.....	77
Figura. 18 - Estoque de carbono no perfil Argissolo Vermelho.....	78
Figura. 19 - Estoque de carbono no perfil Gleissolo Háplico.....	78
Figura. 20 - Estoque de carbono no perfil Gleissolo Háplico.....	79
Figura. 21 - Estoque de carbono no perfil Argissolo Vermelho.....	80
Figura. 22 - Estoque de carbono no perfil Plintossolo Háplico.....	81
Figura. 23 - Estoque de carbono no perfil Neossolo Quatzarênico.....	82
Figura. 24 - Estoque de carbono no perfil Cambissolo Háplico.....	83
Figura. 25 - Estoque de carbono no perfil Cambissolo Háplico.....	84
Figura. 26 - Estoque de carbono no perfil Argissolo vermelho-Amarelo.....	85
Figura. 27 - Estoque de carbono no perfil Luvisolo Crômoco.....	87
Figura. 28 - Estoque de carbono no perfil Neossolo Rigolítico.....	88
Figura. 29 - Estoque de carbono no perfil Argissolo vermelho-Amarelo.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação climática para as cidades de implementação dos PSAs	37
Tabela 2 - Classes de cobertura/uso do solo em (ha) nos anos de 1991; 2001; 2011 e 2021 de Alagoinha – PB	39
Tabela 3 - Classes de cobertura/uso do solo em (ha) nos anos de 1991; 2001; 2011 e 2021 de Curral de Cima – PB	41
Tabela 4 - Classes de cobertura/uso do solo em (ha) nos anos de 1991; 2001; 2011 e 2021 de Itapororoca – PB	43
Tabela 5 - Classes de cobertura/uso do solo em (ha) nos anos de 1991; 2001; 2011 e 2021 de Riachão do Poço – PB	45
Tabela 6 - Classificação do Índice de Desenvolvimento Humano de Alagoinha, Curral de Cima, Itapororoca e Riachão do Poço por um período de 20 anos.....	51
Tabela 7 - Atributos físicos e carbono orgânico do solo em perfis localizados em Alagoinha-PB.....	66
Tabela 8 - Atributos físicos e carbono orgânico do solo em perfis localizados em Curral de Cima-PB.....	68
Tabela 9 - Atributos físicos e carbono orgânico do solo em perfis localizados em Itapororoca-PB.....	70
Tabela 10 - Atributos físicos e carbono orgânico do solo em perfis localizados em Riachão do Poço-PB.....	71

SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
1 INTRODUÇÃO GERAL	12
1.1 INTRODUÇÃO	12
1.1.1 CICLO DO CARBONO	15
1.1.2 FONTES DE EMISSÃO DE GÁS CARBÔNICO	19
1.1.3 ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO	20
JUSTIFICATIVA	23
1.2 REFERENCIAS	24
2 CAPÍTULO 1: CLASSES DE SOLOS, COBERTURA/USO E FORTALECIMENTO DA METODOLOGIA DOS PSAS.....	29
ABSTRACT	30
2.1 INTRODUÇÃO	31
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS	35
2.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	35
2.2.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DAS CIDADES ESTUDADAS	35
2.2.3 GEOLOGIA, TIPOS DE SOLO, COBERTURA/USO DO SOLO/VEGETAÇÃO DAS CIDADES DE IMPLEMENTAÇÃO DOS PSAS.....	36
2.2.4 ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO.....	36
2.2.5 CRITÉRIOS DE ABERTURA DOS PERFIS.....	36
2.3 RESULTADOS	37
2.3.1 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA	37
2.3.2 GEOLOGIA, TIPOS DE SOLO, COBERTURA/USO DO SOLO/VEGETAÇÃO DA CIDADE DE ALAGOINHA	37
2.3.3 GEOLOGIA, TIPOS DE SOLO, USO E COBERTURA DO SOLO/VEGETAÇÃO DA CIDADE DE CURRAL DE CIMA.....	39
2.3.4 GEOLOGIA, TIPOS DE SOLO, USO E COBERTURA DO SOLO/VEGETAÇÃO DA CIDADE DE ÍTAPOROROCA	42
2.3.5 GEOLOGIA, TIPOS DE SOLO, USO E COBERTURA DO SOLO/VEGETAÇÃO DA CIDADE DE RIACHÃO DO POÇO.....	43
2.4 CLASSES DE SOLO.....	46
2.4.1 CLASSES DE SOLOS DE ALAGOINHA	46
2.4.2 CLASSES DE SOLOS DE CURRAL DE CIMA	47
2.4.3 CLASSES DE SOLOS E MORFOLOGIA DE ÍTAPOROROCA.....	48
2.4.4 CLASSES DE SOLOS E MORFOLOGIA DE RIACHÃO DO POÇO	49
2.5 ANÁLISE DO IDH DAS CIDADES ESTUDADAS.....	50
2.6 DISCUSSÃO	51
2.7 CONCLUSÃO.....	52
2.8 REFERÊNCIAS	54

3	CAPITULO 2 - SERVIÇO ECOSISTÊMICO DE ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO NAS CIDADES DE IMPLIMENTAÇÃO DO PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA NA PARAÍBA.....	58
	ABSTRACT.....	59
3.1	INTRODUÇÃO.....	60
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	61
	3.2.1 ÁREAS DE ESTUDO.....	61
	3.2.2 SELEÇÃO DAS ÁREAS DE AMOSTRAGEM, DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS.....	62
	3.2.3 AMOSTRAGEM DOS SOLOS.....	62
3.3	ANÁLISES FÍSICAS.....	62
	3.3.1 DENSIDADES DOS SOLOS.....	62
	3.3.2 GRANULOMETRIA.....	63
3.4	ANÁLISE QUÍMICA.....	63
	3.4.1 MATÉRIA ORGÂNICA E CARBONO ORGÂNICA.....	63
	3.4.2 ESTOQUE DE CARBONO.....	64
3.5	RESULTADOS.....	65
	3.5.1 ATRIBUTOS FÍSICOS E CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO.....	65
3.6	ESTOQUE DE CARBONO.....	71
	3.6.1 ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO EM ALAGOINHA.....	71
	3.6.2 ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO EM CURRAL DE CIMA.....	76
	3.6.3 ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO EM ITAPOROROCA.....	82
	3.6.4 ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO EM RIACHÃO DO POÇO.....	86
3.7	DISCUSSÃO.....	90
3.8	CONCLUSÕES.....	92
3.9	REFERÊNCIAS.....	94
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Introdução

Os ecossistemas terrestres são sustentados pelos solos que é o melhor estratificador de ambientes. O solo contém informações sobre os fatores de formação e interação do ecossistema, a pedosfera apresenta relação direta com a atmosfera, litosfera, hidrosfera e biosfera. (Pereira et al., 2018; Zhao & Wang, 2020).

Os bens e serviços gerados pelo capital natural solo, são denominados de serviços ecossistêmicos do solo (MEA, 2005). Os serviços ecossistêmicos do solo (SES), regulam os processos geológicos essenciais de suporte à vida, através de ciclos biogeoquímicos e de outros processos nas esferas terrestres (Andrade & Romeiro, 2009; Daly & Farley, 2004), inúmeras pesquisas evidenciam que a estrutura do solo em função do papel exercido no provisionamento de água, nas trocas de gases e na sustentação dos vegetais no solo, influenciam na diversidade da microbiota, bem como nas modificações espaciais e estruturais da comunidade microbiana (Fraga et al., 2012; Hugoni et al., 2021), a matéria orgânica presente no solo são constituintes que fortalece a produtividade em decorrência aos benefícios que essas substâncias promovem na estrutura física, química e biológica do solo, pois através destas substâncias há a ocorrência de formação de agregados por meio do processo de elevação das troca de cátions, aumento da porosidade (macro e micro), fortalecendo o ecossistema através dos SES de suporte e ciclagem de nutrientes, na captação, regulação e retenção da água no solo (Sposito, 2004; Canellas et al., 2005; Oliveira, 2011).

Nos ecossistemas terrestres o solo é ator principal de vários serviços ecossistêmicos de suporte, provisão, regulação e até mesmo culturais, esses habitats apresentam condições adequadas para o crescimento da microbiota em relação a disponibilidade de água e nutrientes em seu substrato, e na proteção contra agentes predadores. A disponibilidade de microrganismos é influenciada pelo tipo e a quantidade de substratos orgânicos disponíveis no solo. As substâncias orgânicas influenciam na abundância de grupos microbianos e em sua funcionalidade no sistema (Fraga et al., 2012; Hugoni et al., 2021; Singh et al., 2006).

O solo é o maior reservatório de microrganismo do planeta, de modo direto e indireto ele recebe todos os resíduos dos seres vivos, esses são transformados em substâncias orgânicas e inorgânicas que sustenta o ecossistema. Esses compostos derivados de plantas e animais, quando depositados ao solo, são posteriormente degradados em elementos orgânicos e inorgânicos, através dos processos de trituração, decomposição e mineralização no solo, esses compostos passam pelos ciclos biogeoquímicos, dispondo de nutrientes para a sustentação do

ecossistema solo, oferecendo a humanidade serviços ecossistêmicos que fortalece o ambiente ecologicamente e promove a valoração econômica tanto do serviço ecossistêmicos de estoque de carbono como o de retenção e regulação hidrológica (Fraga et al., 2012; Hugoni et al., 2021; Shanmugam et al., 2017).

Os compostos orgânicos têm como principal constituinte o carbono que é o átomo primordial dos constituintes vivos. O carbono é essencial para a vida na terra, ele é o elemento chave em uma ampla gama de compostos bióticos, como proteínas, lipídeos e carboidratos, que participam do crescimento e reprodução dos organismos, além disso o carbono é encontrado em compostos abióticos, como o dióxido de carbono e metano primordiais para o equilíbrio do sistema. Daí podemos observar a disponibilidade do carbono que circula nos ecossistemas terrestres, aquáticos e atmosfera, sendo-o convertido pelos organismos em formas abióticas e bióticas por meio dos processos biogeoquímicos, para a manutenção e equilíbrio ambiental. O ecossistema é fonte e dreno de gás carbônico, portanto quanto menor esta molécula estiver em concentração na atmosfera, melhor será as condições ambientais e principalmente de diminuição da temperatura do planeta terra, destacando aqui que o serviço ecossistêmico de estoque de carbono é primordial para o equilíbrio da vida do planeta (Adhikari & Hartemink, 2016; Allen et al., 2005; Keenan & Williams, 2018).

Com a análise do carbono do solo, poderemos avaliar as concentrações de gases do efeito estufa (GEE), que são os principais responsáveis pelas mudanças climáticas globais, pois o estudo do ciclo biogeoquímico do carbono, a conversão de áreas nativas para agrícolas, a queima dos combustíveis fósseis, são uns dos principais fatores responsáveis pela emissão de gás carbônico (CO₂) para a atmosfera (Cardoso et al., 2010; Lal, 1998, 2002).

Quanto a mitigação do efeito estufa, podemos destacar como primordial os ecossistemas terrestres, que nas últimas décadas, vem tendo importante destaque no sequestro e estocagem de carbono atmosférico, que outrora não recebiam importante relevância comparadas aos ecossistemas aquáticos (Lal, 1998, 2002; Santana et al., 2019).

Os ecossistemas abrangem complexas, dinâmicas e contínuas inter-relações entre os seres vivos e os fatores abióticos em seus sistemas, nos quais o ser humano é parte integral e primordial para os sistemas terrestres (Andrade & Romeiro, 2009).

Os ecossistemas são sistemas adaptativos e complexos, nos quais propriedades sistêmicas macroscópicas como, estrutura, relação produtividade-diversidade e padrões de fluxos de nutrientes emergem de interações entre os componentes, sendo comum a existência de efeitos de retroalimentação (Andrade & Romeiro, 2009; Levin, 1998), numa combinação de efeitos negativos e positivos responsáveis por um equilíbrio dinâmico e evolutivo. Neste

processo não está incluído apenas as interações entre a biota, mas, entre a totalidade complexa dos fatores físicos, químicos e morfológicos que formam o ambiente (Andrade & Romeiro, 2009; Costanza et al., 1997).

O conceito de funções ecossistêmicas é relevante no sentido de que por meio delas se dá a geração dos chamados serviços ecossistêmicos, que são os benefícios diretos e indiretos obtidos pelo homem a partir dos ecossistemas. Dentre eles pode-se citar a provisão de água e alimentos, a regulação climática, a formação do solo e ciclos biogeoquímicos (Andrade & Romeiro, 2009; Costanza et al., 1997).

Para que haja o entendimento na dinâmica dos ecossistemas devemos identificar as chamadas funções ecossistêmicas, as quais podem ser definidas como as constantes interações existentes entre os elementos estruturais de um ecossistema, os elementos estruturantes incluem transferência de energia, ciclagem de nutrientes, regulação de gás, regulação climática e do ciclo hidrológico (Andrade & Romeiro, 2009; Costanza et al., 1997; Daly and Farley, 2004).

Os SES – Serviços Ecossistêmicos do Solo, regulam os processos ecológicos essenciais de suporte à vida, através de ciclos biogeoquímicos e de outros processos nas esferas terrestre (Andrade & Romeiro, 2009; Daly e Farley, 2004).

Esses processos são mediados pelos fatores abióticos de um ecossistema, juntamente com organismos vivos através de processos evolucionários e mecanismos de controle, dentre eles estar a quantificação do estoque de carbono que é um fator primordial de análise da condição ambiental e do provisionamento e regulação da água no ecossistema (Andrade & Romeiro, 2009; Daly e Farley, 2004), essa quantificação promove melhorias das análises hidrológicas, melhorando ações do Planos de Segurança da Água (PSA).

O Plano de Segurança da Água (PSA) é uma metodologia recomendada pela *Guidelines for Drinking Water Quality* da Organização Mundial da Saúde – OMS (World Health Organization, 2017), este instrumentos promove a descrição de todo o sistema desde a captação ao abastecimento como vista a todos os riscos e perigos que possam afetar a saúde e bem estar da humanidade (Bigas, 2013; World Health Organization, 2017).

A implementação dos estudos sobre o solo, fortalece a metodologia dos PSAs - Planos de Segurança da Água. Este instrumento identifica e prioriza perigos e riscos em um sistema de abastecimento de água, desde o manancial até o consumidor, visando estabelecer medidas de controle para reduzi-los ou eliminá-los, bem como estabelecer processos para verificação da eficiência da gestão preventiva (Bigas, 2013; World Health Organization, 2017).

O PSA preconiza uma avaliação holística de toda a cadeia de abastecimento de água para consumo humano, do manancial até o ponto de consumo da água, com o objetivo de

garantir a segurança da água para a saúde humana, a minimização da contaminação no manancial, a eliminação ou remoção de contaminantes por meio de tratamento da água e a prevenção da (re)contaminação no sistema de distribuição (World Health Organization, 2017).

1.1.1 Ciclo do carbono

A complexidade do ciclo do carbono no solo ocorre pelos processos de degradação e síntese de compostos orgânicos. Os carboidratos complexos são degradados por microrganismos decompositores que também sintetizam compostos do mesmo tipo e constituição celular igual, dificultando a identificação entre os compostos da decomposição e os de síntese pelos microrganismos (Lal, 2004).

A biomassa, a atmosfera, o solo, a hidrosfera e a litosfera, são os principais reservatórios de carbono da terra (Silva, 2015; Machado, 2005), os mais elevados fluxos de carbono ocorrem entre a atmosfera e as plantas e também nos oceanos. O carbono chega ao solo principalmente por meio do processo de fotossíntese (**Figura. 1**).

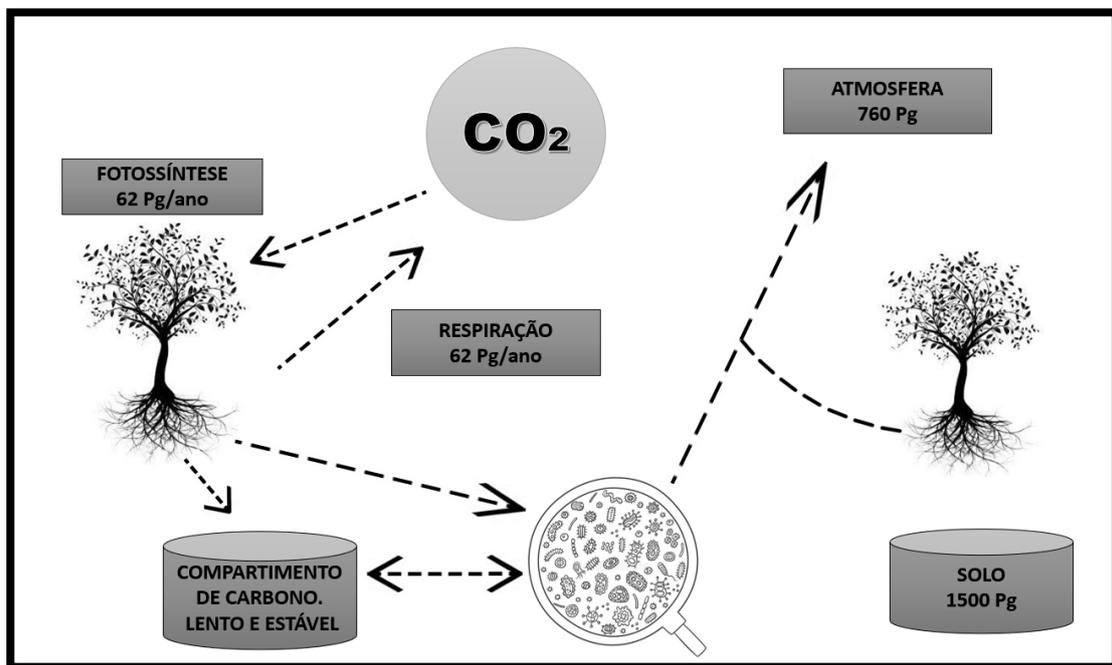


Figura. 1 - Simplificação do esquema do ciclo do carbono terrestre entre a atmosfera, as plantas e o solo. (Adaptado de Rice et al., 2022).

De acordo com a figura podemos analisar que a estimativa de fixação de carbono é de 62 Pg de C por ano, o carbono vegetal chega ao solo por meio de exsudados radiculares, renovação radicular e pela adição de materiais vegetais no solo, é estimado que a respiração

libera cerca de 62 Pg de Carbono por ano, promovendo um equilíbrio entre a fotossíntese. O solo é o maior compartimento de carbono comparado as plantas e a atmosfera, apresentando uma estimativa de 1500 Pg (Rice et al., 2022), sabendo que aproximadamente 7% do C atmosférico é transformado pelas plantas e pela respiração microbiana, estes dois processos são os principais meios de absorção e entrada de CO₂ atmosférico (Rice et al., 2022).

A vegetação terrestre comporta a maior concentração de carbono orgânico. Esse reservatório é o principal sitio de captação de gás carbônico, tendo de forma direcional a maior concentração de carbono na matéria orgânica morta oriunda de todos os seres deste ecossistema (Keenan & Williams, 2018).

As substâncias orgânicas complexas são constituintes que fortalece a produtividade em decorrência aos benefícios que essas substâncias promovem na estrutura física, química e biológica do solo, bem como para o metabolismo das plantas (Sposito, 2004; Canellas et al., 2005; Oliveira, 2011).

Essas moléculas compõem aproximadamente 90% da matéria orgânica do solo, sendo originadas do processo de ressíntese dos resíduos orgânicos, atuando em diversas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Elas são classificadas, em ácidos fúlvicos que são substâncias solúveis em meio ácido e básico, por apresentarem maior polaridade e menor tamanho molecular, ácido húmico e humina. Estes compostos são os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions dentro do solo, por meio de complexos organometálicos, estas são as substâncias húmicas (Mendonça & Matos, 2005).

As substâncias húmicas são constituídas de uma mistura complexa de compostos orgânicos (**Figura. 2**), derivados de microrganismos mortos que são triturados, decompostos e mineralizados no solo. Algumas substâncias do húmus são relativamente estáveis e de difícil decomposição, enquanto outras se decompõem mais rapidamente (Stevenson, 1994; Stehlickova et al., 2009).

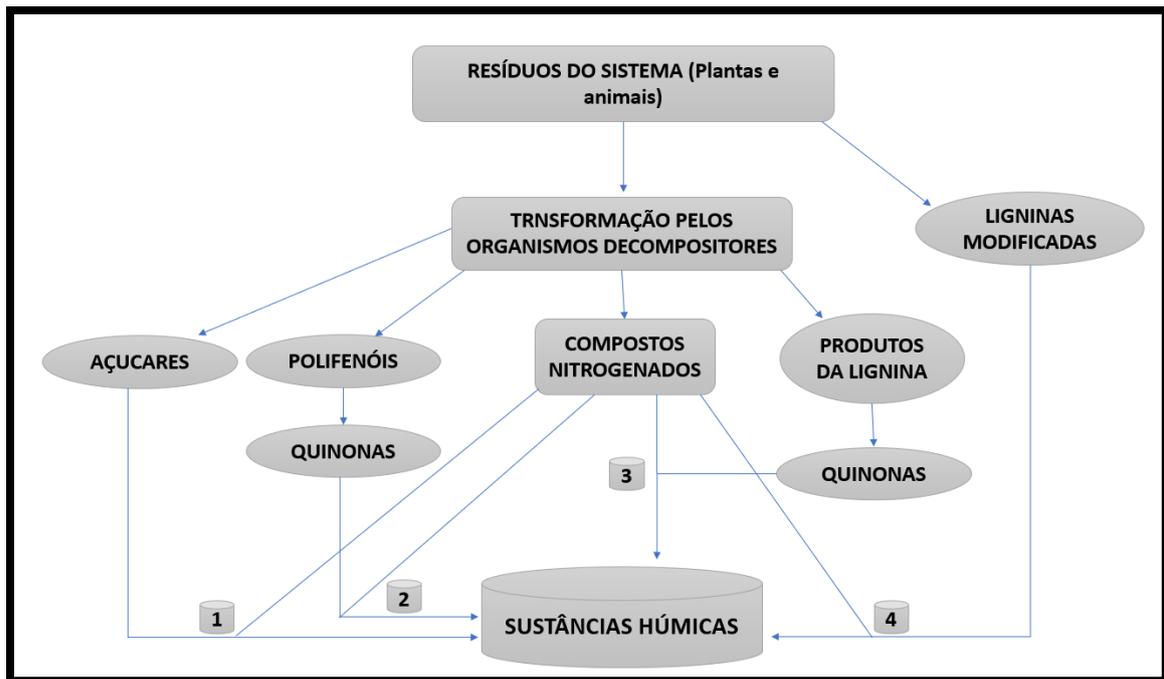


Figura. 2 – Vias de formação das substâncias húmicas (Adaptado de Stevenson, 1994).

A figura acima representa as 4 (quatro) principais vias de formação das substâncias húmicas, por ação da decomposição das substâncias orgânicas depositadas ao solo. Na via 1 (um) ocorre a polimerização não enzimática de aminoácidos e açúcares formados como subprodutos da atividade de decomposição. Nas vias 2 (dois) e 3 (três) os polifenóis e ou as quinonas dão origem as substâncias húmicas, as quinonas se modificam nas substâncias húmicas, bem como os polifenóis que nestas vias diferentes quanto as suas fontes, na via 2 (dois) os polifenóis originam-se de fontes de carbono não lignínico ou são sintetizados por organismos específicos, na via 3 (três) a lignina é a fonte dos polifenóis. No mecanismo 4 (quatro) as substâncias húmicas têm suas origens de substâncias lignínicas modificadas (Estevenson, 1994; Rocha & Rosa, 2003).

Os ácidos húmicos são os compostos mais estudados e apresentam pouca solubilidade em meio ácido. Estes ácidos juntamente com os ácidos fúlvicos, são responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais de solos. A humina que consiste em um aglomerado de materiais húmicos e apesar de apresentar baixa reatividade, são responsáveis por mecanismos de agregação de partículas e na maioria dos solos tropicais representa a maior parte do carbono humificado do solo (Stehlickova et al., 2009; Zhang et al, 2014).

É importante destacar que as substâncias húmicas não têm efeito nutricional direto, porém, atuam na capacidade de troca de cátions aumentando a CTC, diminuem a lixiviação, proporcionando um melhor custo-benefício ao solo. Ainda, diversos estudos apontam que elas

beneficiam o crescimento de raízes e folhas, estimulam a germinação das sementes de algumas culturas, estimulam a absorção de nutrientes e facilitam a comunicação e promoção dos processos produtivos dentro das plantas (Bottomley, 1917; Cesco et al., 2002; Nardi et al., 2002).

As substâncias húmicas apresentam ação biomolecular, que promove incentivos à planta, fazendo que os processos de desenvolvimento, sobrevivência, produção e reprodução sejam mais ativos e eficazes (Canellas et al., 2005; Caron et al., 2015).

O ciclo do carbono no solo pode ser dividido em: Fase anabólica, também chamadas de organização do gás carbônico atmosférico; Fase de liberação dos produtos fotossintetizantes e de acúmulo e estabilidade no solo e Fase de mineralização das substâncias orgânicas e de transporte do gás carbônico para a atmosfera (Stevenson, 1994; silva, 2015).

Modificações no solo em virtude de mudanças climáticas, uso e cobertura do solo podem promover alterações na ciclagem de carbono orgânico e gerar grandes sumidouros ou fontes de carbono terrestre. Podemos entender que ações antrópicas sobre o uso e cobertura do solo resultam em perdas significativas de carbono, visto que nos últimos dois séculos essa perda foi bem acentuada em virtude da ação do homem sobre sua influência no uso e cobertura da terra (Georgiou et al., 2022; Lal, 2002).

A redução das taxas de desmatamento e de queima vegetal, a menor utilização dos combustíveis fósseis, o uso eficiente do solo são estratégias que maximizam o sequestro de carbono tanto na vegetação quanto no solo, essas estratégias mitigam a emissão de gases do efeito estufa (Lal, 2004).

O carbono é um dos elementos encontrados e armazenado na matéria orgânica do solo. A matéria orgânica do solo - MOS passa por um processo de rápida decomposição pela ação dos microrganismos. Em virtude de ações antrópicas ocorre a aceleração na liberação de gás carbônico para a atmosfera, estas ações devem ser repensadas, já que o aumento dos gases do efeito estufa promovem a elevação da temperatura da Terra. Outra ação de elevação da taxa de liberação de CO₂ para a atmosfera, pode advir do aumento da respiração dos microrganismos do solo, que pode ser acelerado em decorrência do mau uso da terra. (Batjes & Sombroek, 1997; Lal, 2004; Schlesinger & Andrews, 1999; Six et al., 2002).

Nas regiões de clima tropical, as taxas de decomposição de matéria orgânica do solo em virtude das altas temperaturas e umidade do solo, é mais acelerada. E o Estoque de carbono ocorre de forma lenta e é influenciado pela manutenção e sobre o bom uso/cobertura do solo (Lal, 2010, 2004, 2002).

O aumento da estabilidade dos agregados do solo, a maior estabilidade dos poros, a elevação da capacidade do solo em suportar cargas em virtude do aumento da força de união entre as partículas, são características físicas influenciadas pela disponibilidade do Estoque de Carbono no solo, destes atributos do solo, o EC promove maior circulação de ar e retenção de água no sistema (Cardoso et al., 2010; Georgiou et al., 2022; Stockmann et al., 2015).

As propriedades químicas do solo também sofrem influência direta pela disponibilidade do Estoque de Carbono no solo. O EC e a capacidade de troca catiônica têm forte relação, a CTC é o fator de proteção da matéria orgânica do solo. A elevação destes fatores físicos/químicos, tem relação direta sobre a quantidade e disponibilidade de ambos no solo, sendo que quanto maior a quantidade de EC no solo maior será a CTC e vice versa, e assim maior será a estabilidade do solo (Silva, 2015; Marques et al., 2016; Santana et al., 2019; Stockmann et al., 2015).

As variações no uso e cobertura dos solos promovem mudanças mais bruscas sobre a biomassa microbiana, estes atributos biológicos do solo são os principais responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia no solo (Lal, 2010).

Podemos entender que o EC promove melhoria nos atributos físicos, químico e biológicos no solo. Essa melhoria, proporciona ao sistema maior fertilidade do solo, maior agregação das partículas, maior aeração, maior taxa de decomposição, maior retenção e purificação de água no sistema, mesmo em ambientes que a morfologia físico/química seja caracterize pela baixa fertilidade em virtude da baixa CTC e ou presença de óxido de ferro e alumínio (silva, 2015).

1.1.2 Fontes de emissão de gás carbônico

A disponibilidade de Carbono no solo tem relação com a adição de carbono derivado dos processos fotossintéticos e de suas perdas para a atmosfera, através da oxidação microbiana, onde ocorre a transformação do carbono orgânico em gás carbônico (Costa et al., 2008; Silva, 2015; Schlesinger & Andrews, 1999).

A emissão global do gás carbônico dos solos é reconhecida como um dos maiores fluxos no ciclo global do carbono e a modificação nos processos respiratórios do solo pode apresentar grande influência na concentração de gás carbônico atmosférico (Schlesinger & Andrews, 1999).

O fluxo global de gás carbônico no solo estimado por diversos autores varia entre os valores de 68×10^{15} g C/ano e 75×10^{15} g C/ano (Schelesing & Andrer, 1999).

O fluxo de CO₂ no solo tem relação direta ao crescimento da flora, que por sua vez fornecem compostos orgânicos ao ecossistema que são decompostos pelos organismos decompositores (Schlesinger & Andrews, 1999). Destacando a relação entre a respiração do solo e a produção primária líquida, e assim quando a carbono orgânico é depositado ao solo a taxa de respiração tende a ser elevada (Allen et al., 2005; Keenan & Williams, 2018).

Geologicamente a produção de CO₂ é variável, devido as diferenças de temperaturas nas diversas regiões do planeta. Assim a temperatura pode elevar exponencialmente as taxas respiratórias do solo, essa taxa também é influenciada pela umidade bem como pelo manejo que afeta o metabolismo dos microrganismos nos processos de decomposição dos resíduos vegetais e da matéria orgânica do solo (Silva., 2015; La Scala et al., 2006).

Em regiões tropicais onde o clima apresenta temperaturas mais elevadas, as taxas respiratórias do solo são mais intensas, podendo chegar anualmente a emitir para a atmosfera cerca de 14 Mg ha^{-1} de carbono (Sauerberck., 2001; Carvalho et al., 2010; Silva 2015).

Observando o uso e cobertura do solo e as variações climáticas em diferentes regiões, podemos compreender a importância da avaliação da capacidade dos solos estocarem e ou emitirem carbono da/ou para a atmosfera. Entendendo que a concentração de carbono estocado no solo e a velocidade em que esse carbono se estabiliza e ou se desestabiliza pode promover mudanças bruscas na condição ambiental (Sauerberck., 2001; Carvalho et al., 2010; Silva 2015).

Como o uso, cobertura, manejo e características climáticas promove alterações no sistema solo, variações negativas sobre estas características promove a diminuição da quantidade de matéria orgânica no solo, em virtude do aumento das taxas de oxidação. Essas mudanças no uso da terra têm contribuído com a perda para a atmosfera de cerca de 70 Pg de carbono na forma de CO₂ (Sauerberck., 2001; Carvalho et al., 2010; Silva 2015).

1.1.3 Estoque de Carbono no Solo

Um dos principais compartimentos da terra que estoca carbono é o solo, principalmente nos primeiros centímetros, onde pode ser armazenado cerca de 2,5 vezes mais carbono em relação ao compartimento flora (Rangel et al., 2007; Silva, 2015; Stockmann et al., 2015).

Entender a importância de aumentar a concentração do estoque de carbono ao solo é de grande importância, tendo em vista que variações no EC do solo promove impactos

significativos na concentração de CO₂ atmosférico, sendo este um dos principais gases do efeito estufa (Bernoux et al., 2006; Carvalho et al., 2010; Silva, 2015).

Como a temperatura afeta da taxa de decomposição, compreendemos que em regiões que apresentam temperaturas mais elevadas, como as regiões de clima tropical, a MOS é decomposta mais rapidamente (Carvalho et al., 2010).

Sobre o estoque mundial de carbono o nosso país estoca cerca de 5% do total de carbono estocado no planeta na camada de 0 – 20 centímetros de profundidade. As áreas mundiais apresentam estoque de carbono entre 3 e 6 Kg m⁻² (Bernoux et al., 2006; Silva, 2015).

As variações sobre o estoque de carbono no território brasileiro apresentam varrições conforme a localização geográfica, considerando que o EC é maior em regiões com presenças de solos mais úmidos como o Pantanal e a Amazonia, ou em regiões de clima mais ameno como a Região Sul. A Região Nordeste apresenta um quantitativo menor de EC, por nossa região apresentar um clima semiárido, com temperatura mais elevadas onde a taxa de respiração e decomposição é maior (Silva., 2015).

Conforme o uso da terra, o solo pode atuar como dreno e ou fonte de CO₂ de ou para a atmosfera (IPCC, 2001), neste contexto práticas de conservação do solo pode diminuir a emissão de CO₂ pelo solo (Lal, 2004). Boas práticas de uso, cobertura, manejo e conservação do solo pode promover um aumento considerável da estocagem de carbono ao solo, bem como a diminuição da emissão de carbono na forma de CO₂ evitando a aceleração do aquecimento global (Carvalho, 2006).

Variações na temperatura, a fertilidade do solo, tipo de vegetação e tipo de solo, são características que influenciam na concentração e qualidade de carbono que será estocado e ou liberado no sistema solo (Duiker & Lal, 2000).

O CO₂ atmosférico chega ao solo pela ação dos organismos autotróficos, através dos produtos orgânicos produzidos pela fotossíntese e ou quimiossíntese, destacando que a maior concentração de carbono que chega ao solo é proveniente dos processos fotossintéticos (Silva, 2015).

Através dos depósitos de serrapilheira e pluviolixiviados compostos orgânicos oriundos da fotossíntese chega ao solo, sendo os vegetais os principais responsáveis pela deposição de compostos orgânicos. Quanto mais elevada for a deposição de resíduos vegetais maior será o estoque de carbono no solo (Farias et al., 2008; Silva, 2015).

A variável temperatura tem destaque, vez que sua elevação pede acelerar o aumento da emissão de gás carbônico do solo para a atmosfera, pelo aumento da taxa respiratória e de decomposição do solo. Os solos que apresentam baixa cobertura vegetal a incidência solar

acelera a emissão do gás carbônico em virtude da elevação da temperatura no habitat, enfatizando aqui a importância de práticas de conservação, manejo, uso e coberturas para proteção ambiental, para assim mitigar a elevação da temperatura do planeta (Duiker & Lal, 2000; Silva, 2015).

As classes e tipos de solo tem função primordial sobre o processo de estocagem de carbono, os solos que apresentam elevados teores de argila, tendem a apresentar maior concentração de carbono em virtude de a matéria orgânica do solo se ligar as partículas do solo com maior força, pois este tipo de solo apresenta elevada superfície específica. A fração argila também promove a proteção coloidal da matéria orgânica do solo (Marques et al., 2016; Minasny et al., 2018; Santana et al., 2019).

Nos solos que apresentam maior concentração de argila, a preservação da matéria orgânica do solo é maior devido aos fatores de flocculação e formação de agregados estáveis. Estes eventos físico/químicos proporciona a proteção física da matéria orgânica do solo, pelo motivo da oclusão da matéria orgânica aos agregados, desta forma impedindo a ação dos microrganismos e o fluxo de oxigênio (Raij, 1969; Silva, 2012; Silva, 2015).

Nos solos arenosos o teor de carbono é potencialmente menor, em virtude do carbono estar prontamente disponível para os organismos decompositores, pois nos solos com maior concentração de areia a superfície das partículas do solo é menor, bem como a densidade da carga superficial, impedindo que as partículas deste solo forme ligações com o material orgânico presente no sistema, sendo o solo arenoso pobre em complexos orgânominerais (Zinn et al., 2005; Silva, 2015).

O Serviço ecossistêmico de estoque de carbono é um bem e serviço oferecido ao planeta e a humanidade, promovendo melhoria do ecossistema, tendo relação direta sobre a provisão e purificação da água no solo, e como regulador climático, pois, quanto maior a concentração do Estoque de Carbono no solo, menor será a concentração de CO₂ na atmosfera, todavia este serviço é primordial para manutenção do temperatura do planeta, sendo o gás carbônico um dos principais gases que acelera o efeito estufa (Andrade & Romeiro, 2009; Georgiou et al., 2022; Lal, 2004, 2002; Prado et al., 2016; Schuldt et al., 2023).

Sobre os serviços ecossistêmicos podemos destacar que o Brasil apresentou um avanço em sua valoração, pois em dezembro de 2023 foi apresentado pela câmara de deputados o Projeto de Lei (PL) 2448/15 de criação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissão de Gases de Efeito Estufa (SBCE), a implementação deste mercado regulado no Brasil além de refletir a responsabilidade socioambiental de nosso país gera oportunidades econômicas favorecendo práticas empresariais mais sustentáveis (CÂMARA,2023). A proposta estabelece um mercado

regulado de títulos de compensação e geração de créditos por emissões de gases de efeito estufa. O sistema negociará cotas brasileiras de emissão (CBE) e certificado de redução ou remoção verificada de emissão (CRVE), cada cota ou CRVE representará uma tonelada de dióxido de carbono (tCO₂). A PL prevê a geração de créditos de carbono por meio de projetos ou programas de prevenção e reflorestamento ou outros métodos de captação de gases do efeito estufa (CÂMARA,2023).

Justificativa

A falta de uma abordagem sobre os serviços ecossistêmicos do solo com foco na quantificação dos estoques de carbono (Andrade & Romeiro, 2009; Georgiou et al., 2022; Lal, 2004, 2002; Raij, 1969). Bem como de avaliação e valoração dos serviços de estoque de carbono no solo no estado da Paraíba.

Promoção do fortalecimento da metodologia dos Planos de Segurança da Água, todavia que a concentração de carbono no solo promove no ambiente melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos, tendo ação direta na disposição, concentração e qualidade da água no sistema.

1.2 Referencias

ADHIKARI, K., HARTEMINK, A.E., **Linking soils to ecosystem services** — A global review. *Geoderma* 262, 101–111. 2016.

ALLEN, A.P., GILLOOLY, J.F., BROWN, J.H., **Linking the global carbon cycle to individual metabolism**. *Funct. Ecol.* 19, 202–213. 2005.

ANDRADE, D.C., ROMEIRO, A.R., **Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano**. Texto para Discussão. IE/UNICAMP, Campinas, n. 155, fev. 2009.

BATJES, N.H., SOMBROEK, W.G., **Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils**. *Glob. Change Biol.* 3, 161–173. 1997.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M.C.S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. **Brazil's soil carbon stocks**. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.66, n.3, p. 888-896, 2002.

BIGAS, H., **Water security and the global water agenda: a UN-water analytical brief**. *United Nations University - Institute for Water, Environment and Health*, Hamilton, Ont. 2013.

BOTTOMLEY, W. B. **Some effects of organic growth-promotion substances (auximones) on the growth of Lemna minor in mineral cultural solutions**. *Proc. Royal Soc. Lond. (Biol.)*, v. 89, p. 481-505, 1917.

CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A. **Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas** / Luciano Pasqualoto Canellas e Gabriel Araújo Santos. – Campos dos Goytacazes: L. P. Canellas, G. A. Santos, 2005. 309 p.: il.

CARDOSO, E.L., SILVA, M.L.N., SILVA, C.A., CURI, N., FREITAS, D.A.F. DE., **Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal**. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 45, 1028–1035. 2010.

CARON, V. C.; GRAÇAS, J. P.; CASTRO, P. R. C. **Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2015.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E.P.; **Potencial de seqüestro de carbono em diferentes biomas do Brasil-Revisão de Literatura**. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 34:277-289, 2010.

CESCO, S.; ROMHELD, V.; VARANINI, Z.; PINTON, R. **Uptake of Fe-59 from soluble Fe-59-humate complexes by cucumber and barley plants**. *Plant Soil*, v. 241, p. 121-128, 2002.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. **Estoques de carbono no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no Sul do Brasil**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32, n.1, p.323-332, 2008.

COSTANZA, R., RALPH D'ARGE, RUDOLF DE GROOT, STEPHEN FARBERLL, MONICA GRASSOT, BRUCE HANNON, KARIN LIMBURG, SHAHID NAEEM,

ROBERT V. O'NEILLTT, JOSE PARUELO, ROBERT G. RASKIN, PAUL SUTTONLLLL & MARJAN VAN DEN BELT., **The value of the world's ecosystem services and natural capital**. Department of Systems Ecology, University of Stockholm, S-106 91 Stockholm, Sweden. 1997.

DALY, H.E., FARLEY, J.C., **Ecological economics: principles and applications**. Island Press, Washington. 2004.

DUIKER, S. W.; LAL, R. **Carbon budget study using CO₂ flux measurements from a no till system in central Ohio**. Soil and Tillage Research, v. 54, n. 1, p. 21-30, 2000.

FARIA, G.E.; BARROS, F.N.; Novais, R.F., SILVA, I.R.; NEVES, J.C.L., **Carbono Orgânico Total da Matéria Orgânica do Solo em Diferentes Distâncias do Tronco de Eucalipto**. Sci. For. Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 265-277, dez. 2008.

FRAGA, M.E., BRAZ, D.M., ROCHA, J.F., PEREIRA, M.G., FIGUEIREDO, D.V., **Interação microrganismo, solo e flora como condutores da diversidade na Mata Atlântica**. Acta Bot. Bras. 26, 857–865. 2012.

GEORGIOU, K., JACKSON, R.B., VINDUŠKOVÁ, O., ABRAMOFF, R.Z., AHLSTRÖM, A., FENG, W., HARDEN, J.W., PELLEGRINI, A.F.A., POLLEY, H.W., SOONG, J.L., RILEY, W.J., TORN, M.S., **Global stocks and capacity of mineral-associated soil organic carbon**. Nat. Commun. 13, 3797. 2022.

HUGONI, M., NUNAN, N., THIOULOUSE, J., DUBOST, A., ABROUK, D., MARTINS, J.M.F., GOFFNER, D., PRIGENT-COMBARET, C., GRUNDMANN, G., **Small-Scale Variability in Bacterial Community Structure in Different Soil Types**. Microb. Ecol. 82, 470–483. 2021.

IPCC – **Intergovernmental Panel on Climate Change**; Climate Change 2001: Synthesis Report - A contribution of working groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press: Cambridge, 2001.
KEENAN, T.F., WILLIAMS, C.A., **The Terrestrial Carbon Sink**. Annu. Rev. Environ. Resour. 43, 219–243. 2018.

LA SCALA, N., BOLONHEZI, D., PEREIRA, G.T., **Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil**. Soil Tillage Res. 91, 244–248. 2006.

LAL, R., **Agricultural activities and the global carbon cycle**. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. Nutrient Cycling in Agroecosystems 70: 103–116. 2004.

LAL, R., **Managing Soils and Ecosystems for Mitigating Anthropogenic Carbon Emissions and Advancing Global Food Security**. BioScience 60, 708–721. 2010.

LAL, R., **Soil carbon dynamics in cropland and rangeland**. Environ. Pollut. Elsevier. Environmental Pollution 116 (2002) 353–362 2002.

LAL, R., **Soil processes and the carbon cycle**, Advances in soil science. CRC Press, Boca Raton, Fla. (Ed.), 1998.

LEVIN, S.A., **Ecosystems and the Biosphere as Complex Adaptive Systems**. Ecosystems 1, 431–436. 1998.

MACHADO, P.L.O.A., **carbono do solo e a mitigação da mudança climática global**. Quim. Nova, Vol. 28, No. 2, 329-334, 2005.

MARQUES, J.D. DE O., LUIZÃO, F.J., TEIXEIRA, W.G., VITEL, C.M., MARQUES, E.M. DE A., **Soil organic carbon, carbon stock and their relationships to physical attributes under forest soils in central amazonia**. Rev. Árvore 40, 197–208. 2016.

MEA- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa, MG: UFV, 2005.

MINASNY, B., ARROUAYS, D., MCBRATNEY, ALEX.B., ANGERS, D.A., CHAMBERS, A., CHAPLOT, V., CHEN, Z.-S., CHENG, K., DAS, B.S., FIELD, D.J., GIMONA, A., HEDLEY, C., HONG, S.Y., MANDAL, B., MALONE, B.P., MARCHANT, B.P., MARTIN, M., MCCONKEY, B.G., MULDER, V.L., O’ROURKE, S., RICHER-DE-FORGES, A.C., ODEH, I., PADARIAN, J., PAUSTIAN, K., PAN, G., POGGIO, L., SAVIN, I., STOLBOVOY, V., STOCKMANN, U., SULAEMAN, Y., TSUI, C.-C., VÅGEN, T.-G., VAN WESEMAEL, B., WINOWIECKI, L., **Rejoinder to Comments on Minasny et al.**, 2017 Soil carbon 4 per mille Geoderma 292, 59–86. Geoderma 309, 124–129. 2018.

NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLO, A.; VIANELLO, A. **Physiological effects of humic substances on higher plants**. Soil Biology and Biochemistry, v. 34, p. 1527-1536, 2002.

OLIVEIRA, E. A. B. **Avaliação de método alternativo para extração e fracionamento de substâncias húmicas em fertilizantes orgânicos**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas, 2011.

PEREIRA, P., BOGUNOVIC, I., MUÑOZ-ROJAS, M., BREVIK, E.C., **Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management**. Curr. Opin. Environ. Sci. Health 5, 7–13. 2018.

PRADO, R.B., FIDALGO, E.C.C., MONTEIRO, J.M.G., SCHULER, A.E., VEZZANI, F.M., GARCIA, J.R., OLIVEIRA, A.P. DE, VIANA, J.H.M., PEDREIRA, B. DA C.C.G., MENDES, I. DE C., REATTO, A., PARRON, L.M., CLEMENTE, E. DE P., DONAGEMMA, G.K., TURETTA, A.P.D., SIMÕES, M., **Current overview and potential applications of the soil ecosystem services approach in Brazil**. Pesqui. Agropecuária Bras. 51, 1021–1038. 2016.

Projeto de Lei 2148/15 - Disponível em: **Câmara aprova projeto que regulamenta o mercado de carbono no Brasil - Notícias - Portal da Câmara dos Deputados** (camara.leg.br). Acessado em 23 de dezembro de 2023.

RAIJ, B. VAN., **A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos**. Bragantia 28, 85–112. 1969.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. **Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.1609-1623, 2007.

RICE, C.W., PIRES, C.B., SARTO, M.V.M., **Carbon cycle in soils: Dynamics and management, in: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences.** Elsevier, p. B9780128229743002000. 2022.

ROCHA, J. C. ROSA, A. H. **Substâncias húmicas aquáticas: Interações com espécies metálicas.** 1 ed. São Paulo: Editora Unesp, 2003

SANTANA, M. DA S., SAMPAIO, E.V. DE S.B., GIONGO, V., MENEZES, R.S.C., JESUS, K.N. DE, ALBUQUERQUE, E.R.G.M. DE, NASCIMENTO, D.M. DO, PAREYN, F.G.C., CUNHA, T.J.F., SAMPAIO, R.M.B., PRIMO, D.C., **Carbon and nitrogen stocks of soils under different land uses in Pernambuco state, Brazil.** Geoderma Reg. 16, e00205. 2019.

SAUERBECK, D. R. **CO₂ emissions and C sequestration by agriculture perspectives and limitations.** Nutrient Cycling in Agroecosystems, v. 60, n. 1-3, p. 253-266, 2001.

SCHLESINGER, W.H., ANDREWS, J.A., **Soil respiration and the global carbon cycle.** Biogeochemistry 48: 7–20, Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. 1999.

SCHULDT, A., LIU, X., BUSCOT, F., BRUELHEIDE, H., ERFMEIER, A., HE, J., KLEIN, A., MA, K., SCHERER-LORENZEN, M., SCHMID, B., SCHOLTEN, T., TANG, Z., TROGISCH, S., WIRTH, C., WUBET, T., STAAB, M., **Carbon–biodiversity relationships in a highly diverse subtropical forest.** Glob. Change Biol. gcb.16697. 2023.

SHANMUGAM, S.G., MAGBANUA, Z.V., WILLIAMS, M.A., JANGID, K., WHITMAN, W.B., PETERSON, D.G., KINGERY, W.L., **Bacterial Diversity Patterns Differ in Soils Developing in Sub-tropical and Cool-Temperate Ecosystems.** Microb. Ecol. 73, 556–569. 2017.

SILVA, E. A., **Frações de carbono em toposequências de solos sob eucalipto com diferentes históricos de uso.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.36, p. 1167 - 1178, 2012.

SILVA, L.J., **Estoque de Carbono e nitrogênio de solos e sua relação com os atributos químicos do solo, água e sedimentos marginais como indicadores de manejo e conservação de ecossistemas na Bacia do Rio Paraopeba – MG.** Dissertação - UFV – Florestal/MG, 2015.

SINGH, B.K., MUNRO, S., REID, E., ORD, B., POTTS, J.M., PATERSON, E., MILLARD, P., **Investigating microbial community structure in soils by physiological, biochemical and molecular fingerprinting methods: Investigating soil microbial community structures.** Eur. J. Soil Sci. 57, 72–82. 2006.

SIX, J., CONANT, R.T., PAUL, E.A., PAUSTIAN, K., **Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils.** Plant and Soil 241: 155–176, Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. 2002

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 277p, 2004

STEHLICKOVA, J.; SVAB, M.; WIMMEROVA, L.; KOZLER, J. **Intensification of phenol biodegradation by humic substances**. *Int. Biodet. Biodegr.*, v. 63, p. 923-927, 2009

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry: Genesis, composition, reactions**. 2nd Ed.: John Wiley & Sons, Inc. New York., 496 p., 1994.

STOCKMANN, U., PADARIAN, J., MCBRATNEY, A., MINASNY, B., DE BROGNIEZ, D., MONTANARELLA, L., HONG, S.Y., RAWLINS, B.G., FIELD, D.J., **Global soil organic carbon assessment**. *Glob. Food Secur.* 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION., **Guidelines for drinking-water quality**: fourth edition incorporating first addendum, 4th ed + 1st add. ed. World Health Organization, Geneva. 2017.

ZHANG, P.; WEI, T.; JIA, Z. K.; HAN, Q. F.; REN, X, L. **Soil aggregate and crop yield changes with different rates of straw incorporation in semiarid of northwest China**. *Geoderma*, v.230/231, p. 41–49, 2014.

ZHAO, T., WANG, Y., **Interpolation and stratification of multilayer soil property profile from sparse measurements using machine learning methods**. *Eng. Geol.* 265, 105430. 2020.
ZINN, Y.L.; LAL, R. & RESCK, D.V.S. **Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil**. *Soil Till. Res.*, 84:28-40, 2005.

2 CAPÍTULO 1: CLASSES DE SOLOS, COBERTURA/USO E FORTALECIMENTO DA METODOLOGIA DOS PSAs

Resumo

O estudo do solo é fundamental para o entendimento das condições ambientais e o serviço ecossistêmico do solo (SES) de estoque de carbono (C) é de suma importância para o entendimento sobre a disposição e qualidade da água no sistema. O objetivo do referido trabalho é analisar as condições dos solos sobre os principais reservatórios que abastece as cidades de implementação dos planos de segurança da água em 04 (quatro) cidades do estado da Paraíba. A quantificação dos SESs de estoque de C buscou fortalecer a metodologia dos PSAs, pois o solo é o compartimento onde é regulado e provisionado água nos ecossistemas. Para isso foi realizado levantamento sobre as condições climáticas, classes de cobertura/uso do solo e classes de solo, tendo essas características influência na concentração de carbono estocado no solo. Os critérios para realização das coletas de solo foram realizados através levantamento in loco das principais fontes de abastecimento de cada cidade, estes pontos ficavam em pontos de florestas naturais e agroflorestas, ficando entendido que sua preservação e manejo pode influenciar no quantitativo de estoques de C e nos SES. Como os SEEC proporciona ao ecossistema melhorias significativas aos atributos físicos, químicos e biológicos, todavia podemos entender que quanto maior for a concentração de carbono estocado ao sistema solo maior será a provisão e regulação da água no ecossistema. Ao analisar as características climáticas, geologia, classes de solo e de cobertura/uso do solo das cidades de Alagoinha, Curral de Cima, Itapororoca e Riachão do Poço, podemos observar que o clima de todas as cidades é As – Tropical com estações mais secas no verão, quanto a geologia: Alagoinha e composta por Unidades Litoestratigráficas do Complexo São Caetano e Suíte Granítica-migmatítica Peraluminosa Recanto/Riacho do Forno, Curral de Cima - Depósitos fluviomarinhas, Grupo Barreiras, Grupo Seridó, Suíte granítica-migmatítica peraluminosa e Complexo São Caetano, Itapororoca - Complexo Cabaceiras com Ortognaisse, Tonalito-Granodiorítico e intercalações de rochas Metamáficas do período Arqueano e Riachão do Poço por Grupo Barreiras e do embasamento cristalino do Complexo Sertânia e Complexo Cabaceiras, as classe de cobertura/uso do solo a Agropecuária teve suas áreas aumentadas ao período de 30 (trinta) anos, provavelmente este crescimento da agropecuária tenha elevado o IDH – Índice de Desenvolvimento Humanos nas cidades estudadas, pois, os IDHs de todos os municípios tiveram aumentos nos últimos 20 (vinte) anos, as classe corpos d'água tiveram diminuição nos municípios de Alagoinha, Itapororoca, e Riachão do Poço e aumento no município de Curral de Cima. As classes de solos identificadas através de levantamento exploratório nas cidades de Alagoinha, Curral de Cima, Itapororoca e Riachão do Poço foram as seguintes: Argissolos Vermelho Distrófico; Argissolos Vermelho Eutrófico; Argissolos Vermelho Amarelo Distrófico; Argissolos Vermelho Amarelo Eutrófico; Argissolos Amarelo Distrófico; Neossolos Litólicos Eutrófico; Neossolos Fluvico Ta e Tb Eutrófico; Neossolos Regolíticos; Neossolo Quartzarênico Órtico; Planossolos Háptico Eutrófico; Luvisolos Crômicos Órticos; Latossolos Vermelho Distrófico; Plintossolo Argilúvico Eutrófico; Plintossolo Pétrico Concrecionário e Espondossolo Humilúvico Órtico (SiBCS, 2018), geralmente solos de textura argilosa apresentam maiores teores de matéria orgânica e conseqüentemente maiores estoques de C e maiores retenções e regulação de água em virtude da relação entre estoque de carbono e a relação da água no ambiente.

Palavras-chave: Solo; Serviço Ecossistêmico de Estoque de Carbono; Plano de Segurança de Água - PSA; Cobertura/uso e Classes de solo.

2 CHAPTER 1: SOIL CLASSES, COVERAGE/USE AND STRENGTHENING THE WSP METHODOLOGY

Abstract

The study of soil is fundamental for understanding environmental conditions and the soil ecosystem service (SES) of carbon stock (C) is of paramount importance for understanding the disposition and quality of water in the system. The aim of this work is to analyze the soil conditions in the main reservoirs that supply the cities where water security plans are being implemented in four cities in the state of Paraíba. The quantification of C stock SESs sought to strengthen the PES methodology, since the soil is the compartment where water is regulated and provisioned in ecosystems. To this end, a survey was carried out on climatic conditions, land cover/use classes and soil classes, these characteristics having an influence on the concentration of carbon stored in the soil. The criteria for soil collection were based on an on-site survey of the main sources of supply in each city. These points were located in natural forests and agroforests, with the understanding that their preservation and management can influence the quantity of C stocks and the SES. As the SES provide the ecosystem with significant improvements in physical, chemical and biological attributes, we can understand that the higher the concentration of carbon stored in the soil system, the greater the provision and regulation of water in the ecosystem. By analyzing the climatic characteristics, geology, soil classes and land cover/use of the cities of Alagoinha, Curral de Cima, Itapororoca and Riachão do Poço, we can see that the climate of all the cities is As - Tropical with drier seasons in summer, as for geology: Alagoinha is made up of lithostratigraphic units of the São Caetano Complex and Granitic-migmatitic peraluminous suite Recanto/Riacho do Forno, Curral de Cima - fluviomarine deposits, Barreiras Group, Seridó Group, Granitic-migmatitic peraluminous suite and São Caetano Complex, Itapororoca - Cabaceiras Complex with Ortognaisse, Tonalito-Granodiorítico and intercalations of metamorphic rocks from the Archean period and Riachão do Poço by the Barreiras Group and the crystalline basement of the Sertânia Complex and Cabaceiras Complex, in the land cover/use class, agriculture has increased its area over the last 30 years, and this growth in agriculture has probably increased the HDI - Human Development Index in the cities studied, as the HDIs of all the municipalities have increased over the last 20 years, while the water bodies class has decreased in the municipalities of Alagoinha, Itapororoca and Riachão do Poço and increased in the municipality of Curral de Cima. The soil classes identified through exploratory surveys in the towns of Alagoinha, Curral de Cima, Itapororoca and Riachão do Poço were as follows: Dystrophic Red Acrisols; Eutrophic Red Acrisols; Dystrophic Yellow Red Acrisols; Eutrophic Yellow Red Acrisols; Dystrophic Yellow Acrisols; Eutrophic Leptosols; Eutrophic Ta and Tb Fluvisols; Regosols; Orthic Arenosols; Eutrophic Planosols; Orthic Chromic Luvisols; Dystrophic Red Ferralsols; Eutrophic Argilluvial Plinthosols; Concretionary Petric Plinthosols and Orthic Humiluvial Podzols, generally clay-textured soils have higher levels of organic matter and consequently higher C stocks and greater water retention and regulation due to the relationship between carbon stocks and the ratio of water in the environment.

Keywords: Soil; Carbon Stock Ecosystem Service; Water Security Plan - WSP; Soil cover/use and soil classes.

2.1 Introdução

Como o solo é o melhor estratificador ambiental e os ecossistemas são sustentados por ele, e as esferas terrestres como a atmosfera, litosfera, hidrosfera e biosfera tem influência direta na pedosfera, analisando-as podemos compreender sua importância para a humanidade (Pereira et al., 2018; Zhao & Wang, 2020).

Os estoques de carbono (C) é um serviço ecossistêmico do solo (SES) oferecido à humanidade que promove a melhoria das condições ambientais, tendo relação com a diminuição dos gases do efeito estufa na atmosfera, bem como na regulação e retenção da água, sendo este processo ecológicos essencial para a manutenção da vida, através de ciclos biogeoquímicos (Andrade & Romeiro, 2009; Daly & Farley, 2004).

A preocupação em avaliar as implicações das mudanças nos ecossistemas, trazem para o bem-estar humano com bases científicas ações necessárias para melhorar a preservação e o uso sustentável desses ecossistemas, isso é dever de todo ser humano. Inúmeros países estão preocupados com as ações de degradação dos ecossistemas, e hoje estes países buscam se unir para mitigar as variações climáticas e assim promover melhor qualidade de vida em esfera global (Andrade & Romeiro, 2009; Costanza et al., 1997; MEA, 2005).

Com observação no estoque de C, podemos entender, que, qualquer mudança, nas condições climáticas ou produção primária, pode conduzir a alterações significativas no CO₂ da atmosfera local e em escala global (Batjes & Sombroek, 1997; Lal, 2002). Por meio do estoque de C é possível avaliar as condições ambientais, bem como, valorar por meio de créditos de carbono, através de sua quantificação no solo e conseqüentemente diminuição na atmosfera, assim promovendo ação de equilíbrio ambiental sobre a mitigação da temperatura do planeta, promovido pela ação dos gases do efeito estufa (Jørgensen et al., 2021; Lal, 2010, 2002).

Sobre a importância e valoração dos serviços ecossistêmicos do solo, as estimativas de avaliação dos SES em valores monetários e não monetários em 2012 apresentavam o valor US\$ 4.000,00 por hectare (M. Brander et al., 2012). Para os solos de mangue os valores apresentados variavam de US\$ 18-28 hectares por ano para a formação de solo, US \$ 62-126 para ciclo da água, US \$ 24-180 para ciclagem de nutrientes, US \$ 30-1.175 para controle hidrológico e US\$ 231-22.219 para produção de biomassa (valores com base no dólar internacional de 2012) (Jónsson & Davíðsdóttir, 2016).

Para demonstrar a valoração mundial sobre os créditos de carbono, avaliamos que no ano de 2019, o mercado voluntário mundial de carbono movimentou o valor de US\$: 320 milhões

e no ano de 2021 movimentou o valor de US\$: 748 milhões, demonstrando aqui a alta dos valores nos anos seguintes (BNDES - CredCarbo, 2023).

Podemos destacar que o valor comercial do carbono hoje é alto, e os fatores que levam a tal elevação nos preços são os investimentos e acordos políticos. Pois, a meta sobre a situação climática na União Europeia (EU) que influencia todos os países, é o controle da elevação da temperatura global. E assim, existindo um aumento sobre a demanda por certificados de carbono dos investidores financeiros, o que faz crescer o valor comercial do carbono no Brasil e no mundo, este serviço ecossistêmico tem importante valor ambiental e econômico (BNDES - CredCarbo, 2023).

Os serviços ecossistêmicos são agrupados em quatro categorias: provisionamento (produção de alimentos e água), regulação (controle do clima e de doenças), suporte (ciclagem de nutrientes e polinização de culturas) e culturais (espirituais e recreativas) (Andrade & Romeiro, 2009; Costanza et al., 1997; Jónsson & Davíðsdóttir, 2016; MEA, 2005). Estes serviços ecossistêmicos são bens e serviços ofertados pelos ecossistemas que promovem o bem-estar e a sobrevivência humana (Andrade & Romeiro, 2009; Costanza et al., 1997; MEA, 2005). Nosso trabalho teve foco no serviço ecossistêmico de estoque de carbono e sua relação direta com os serviços de provisão e regulação da água presente no sistema, que é fortemente influenciada com a disponibilidade de matéria orgânica presente no solo. O serviço de provisão, acumula água potável, reduz perdas por evaporação e provoca maior capacidade de retenção de água no sistema, o serviço de regulação promove a purificação da água (Bortoluzzi et al., 2009; Raij, 1969).

Os serviços de provisão reportam ao abastecimento de alimentos, água, fibras e madeiras (Adhikari & Hartemink, 2016; Andrade & Romeiro, 2009; MEA, 2005).

Os serviços de regulação são aqueles que afetam o clima e as enchentes, degradam resíduos, controlam doenças e mantem o aumentam a qualidade da água (Adhikari & Hartemink, 2016; Andrade & Romeiro, 2009; MEA, 2005).

Os serviços de suporte estão relacionados com a formação do solo, e com os processos de fotossíntese e de ciclagem de nutrientes e os serviços culturais que são os benefícios não-matérias que as pessoas obtêm a partir do contato com os ecossistemas (Adhikari & Hartemink, 2016; Andrade & Romeiro, 2009; MEA, 2005).

Outras funções dos SES estão relacionadas aos aspectos estruturais dos ecossistemas, como a cobertura vegetal, o sistema de raízes, a capacidade de prevenção de distúrbios, que resulta da habilidade dos ecossistemas naturais em tornar menos severos os efeitos de desastres

e eventos de perturbação natural a capacidade de absorção de água (Andrade & Romeiro, 2009; Costanza et al., 1997; MEA, 2005).

Os SES de capacidade de filtragem e estocagem de água, regulam a disponibilidade de água ao longo das estações climáticas, a capacidade de retenção e proteção de solo, previne o fenômeno de erosão e compactação do solo, beneficiando o ecossistema que depende destes recursos em boas condições para que ocorra as ciclagens de nutrientes que regulam sua dinâmica (Andrade & Romeiro, 2009; Costanza et al., 1997; Pereira et al., 2018).

No solo encontramos a matéria orgânica (MO), que participa do ciclo global do C (Lal, 2010), esta MO influencia na fertilidade, na provisão e acúmulo de água no solo, em virtude do aumento das trocas catiônicas (Bortoluzzi et al., 2009; Cole et al., 2021; Raij, 1969). Análises quanti e qualitativas da MOS e do estoque de carbono no solo, são fundamentais para avaliar as condições ambientais. Este serviço ecossistêmico de estoque de carbono tem influência direta sobre a regulação e provisão de água no sistema, promovendo um acúmulo maior e potabilidade da água devidos as propriedades físicas e químicas que a MOS promove ao solo (Batjes & Sombroek, 1997; Cardoso et al., 2010a; Six et al., 2002).

Os serviços ecossistêmicos podem ser afetados por mudanças no uso do solo, podendo causar a redução e até perda de alguns destes serviços ecossistêmicos do solo, muitas vezes antes de serem avaliados e valorados para a criação de políticas públicas de pagamento (Batjes & Sombroek, 1997; Fernandes, 2013; Lal, 2002). Os impactos ambientais têm causado o declínio da biodiversidade e dos SES no mundo, sendo a escassez de água e o aquecimento global alguns dos principais prejuízos para os ecossistemas (Groot et al., 2002; Parron et al., 2015), onde teremos destaque nos serviços ecossistêmicos de provisão e regulação, com base na quantificação do estoque de carbono no solo nas cidades estudadas e contempladas pelos Planos de Segurança de Água – PSA.

Apesar da reconhecida relação dos solos e dos recursos hídricos, a conservação da água e do solo tem importância na gestão dos recursos hídricos, porém, muitos trabalhos, não levavam em consideração a conservação do solo (Prado et al., 2016), estudos de correlação ainda são escassos, principalmente com a abordagem no SES de estoque de C no estado da Paraíba.

Diante do exposto, é imprescindível estudos sobre como os solos desempenham os serviços ecossistêmicos - SE, e de como o estoque de carbono no solo é um SE que avalia a qualidade ambiental e estar diretamente relacionado ao provisionamento e regulação da água nos sistemas (Andrade & Romeiro, 2009; Groot et al., 2002; Lopes Simedo et al., 2020; Parron

et al., 2015), justificando seu importante estudo para o fortalecimento da metodologia dos Planos de Segurança Água – PSAs no estado da Paraíba.

O Plano de Segurança da Água (PSA) é uma metodologia recomendada pela *Guidelines for Drinking Water Quality* da Organização Mundial da Saúde – OMS (World Health Organization, 2017), o plano descreve os riscos e perigos que possam afetar a saúde e bem estar da humanidade (Bigas, 2013; World Health Organization, 2017).

De modo preventivo este trabalho trouxe informações quanto a implementação e melhoria da metodologia de gestão preventiva de riscos, operação e controle das etapas e processos associados ao sistema de abastecimento de água das cidades contempladas pelo plano de segurança de água com base no estoque de carbono presente no solo, serviço este que promove a retenção e acúmulo de água no solo.

Neste sentido foram selecionados 04 (quatro) municípios, a saber: Alagoinha; Curral de Cima; Itaporanga; Riachão do Poço por estarem próximos ao Campus da Areia-PB.

Os benefícios após a implementação dos Planos de Segurança Água, são a prevenção da contaminação da água em todas as unidades de abastecimento como no manancial, nas captações, nas estações de tratamento, nos sistemas de adução, reservação e distribuição até o consumidor, para assim promover o direito à água com qualidade, bem como a análise dos ecossistemas onde serão implantados os PSAs, com análise nos serviços ecossistêmicos de estoque de carbono, este serviço foi fundamental, pois, sua avaliação fortaleceu a metodologia dos PSAs, através da análise do principal estratificador de sustentação dos ecossistemas que é o solo. (Bigas, 2013; Fraga et al., 2012; Hugoni et al., 2021; World Health Organization, 2017; Zhao & Wang, 2020).

Os solos desempenham importantes serviços ecossistêmicos relacionados aos ciclos biogeoquímicos e em especial do carbono e seu estoque, que tem relação direta como o aumento da retenção de água no sistema, levando em consideração as classes e uso do solo, que apresentam seus potenciais físicos/químicos particulares para o fortalecimento do estoque de carbono no solo.

Quanto maior a quantidade de carbono presente no sistema maior será a concentração de água disponível, bem como sua qualidade.

Estudos de correlação ainda são escassos, principalmente com abordagem de serviços ecossistêmicos e estoque de carbono na Paraíba. E que esses solos apresentam potencial de geração econômica para aquisição de créditos de carbono.

2.2 Materiais e métodos

2.2.1 Caracterização da área de estudo

As áreas de estudos compreendem 4 (quatro) municípios do estado da Paraíba, selecionados por base no documento elaborado pela FUNASA que trata da seleção dos municípios brasileiros prioritários para fomento de Planos de Segurança da Água, neste sentido foram selecionados os municípios: Alagoinha; Curral de Cima; Itapororoca e Riachão do Poço (Figura 3).

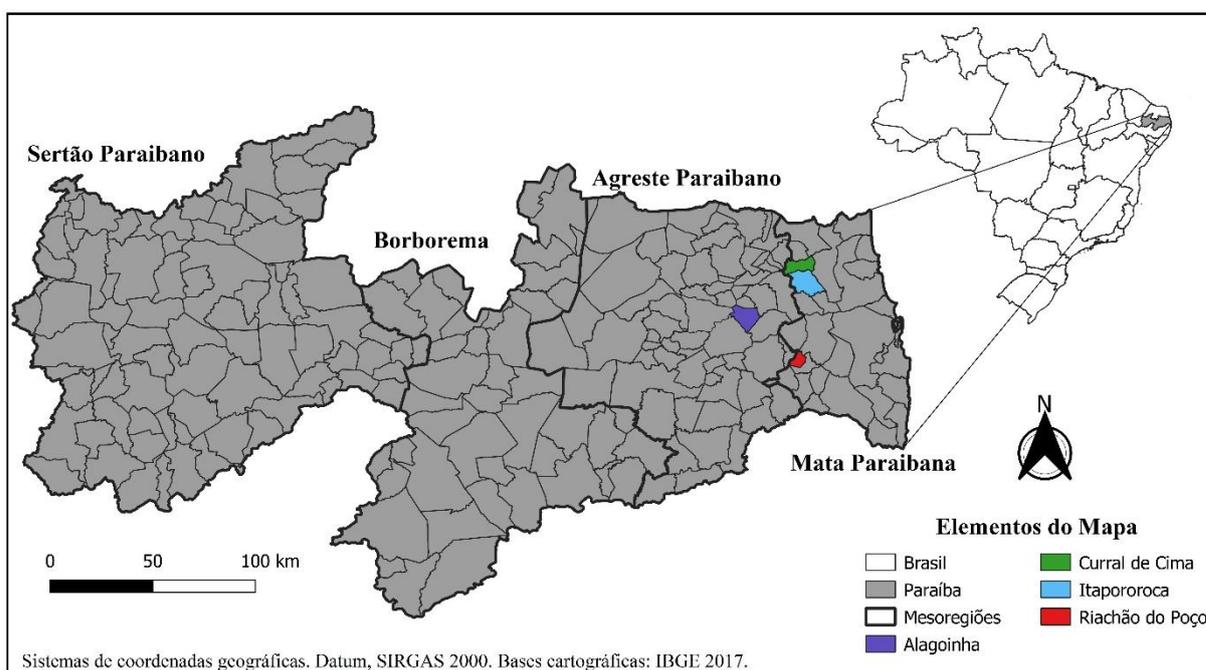


Figura. 3: Mapa da Paraíba e municípios do PSA.

Os municípios selecionados têm população estimada pelo IBGE, ano 2021, com variação de 4.571 a 18.978 habitantes e são abastecidas por diversas fontes hídricas como poços, poços e dessalizadores, riachos, carro-pipa e açudes.

2.2.2 Características climáticas das cidades estudadas

O levantamento climático foi realizado de acordo Köppen & Geiger (Alvares et al., 2013).

2.2.3 Geologia, tipos de solo, cobertura/uso do solo/vegetação das cidades de implementação dos PSAs

Os dados primários para as cidades de implementação dos PSAs sobre a geologia foram obtidos a partir do Mapa Geológico da Paraíba (Santos et al., 2002) e o Mapa de Geodiversidade do Estado da Paraíba (Torres & Silva, 2016) do Serviço Geológico do Brasil do Ministério de Minas e Energia.

O levantamento exploratório sobre as classes de solo foi realizado com o uso do Sistema de coordenadas geográficas – SIRGAS 2000, com as bases de dados cartográficos da Embrapa solos 2020.

Foi realizado levantamento exploratório sobre a concentração das classes de cobertura/uso de solo em hectares de modo comparativo dos anos de 1991; 2001; 2011 e 2021, correspondente a um período de 30 anos (mapbiomas do Brasil 2023).

2.2.4 Índice de desenvolvimento humano

Foi realizado levantamento do Índice de desenvolvimento humano para as cidades de implementação dos PSAs por um período de 20 (vinte) anos (IBGE, 2023).

2.2.5 Critérios de abertura dos perfis

Para todas as cidades estudadas o critério escolhido para abertura das trincheiras foram a proximidade das principais fontes de abastecimentos (corpos D'água) de cada município. Os perfis em todas as cidades tanto foram abertos em locais de florestas naturais como em ambientes de agroflorestas.

2.3 Resultados

2.3.1 Classificação Climática

O Clima das cidades de implementação dos PSAs está descrito na tabela abaixo (**Tabela. 1**), onde está caracterizada a classificação climática, a altitude, a precipitação anual, e a temperatura anual máxima e mínima. A classificação climática foi de acordo com Köppen & Geiger (Alvares et al., 2013).

Tabela 1 – Classificação climática para as cidades de implementação dos PSAs.

Cidade	Clima	Altitude (m)	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	
				máx	mín
Alagoinha	As	158	1059	26,7	23,4
Curral de Cima	As	108	1266	26,9	23,7
Itapororoca	As	83	1272,3	27,1	23,9
Riachão do Poço	As	85	1031,7	27,0	23,7

Adaptado de Alvares et al., 2013.

O clima para todas as cidades estudadas se caracteriza como tropical representado pela letra A – onde os municípios com esta classificação apresentam em todos os meses do ano, temperatura média de 18°C e ou superior e precipitação pluvial significativa. E pelo tipo S que corresponde ao clima de estação mais seca no verão, onde o mês mais seco tem precipitação inferior a 60 mm, mas equivalente a mais de 4% da precipitação anual total. (Alvares et al., 2013).

2.3.2 Geologia, tipos de solo, cobertura/uso do solo/vegetação da cidade de Alagoinha

A geologia de Alagoinha é composta por Unidades Litoestratigráficas do Complexo São Caetano e Suíte Granítica-migmatítica Peraluminosa Recanto/Riacho do Forno (**Figura 4**).

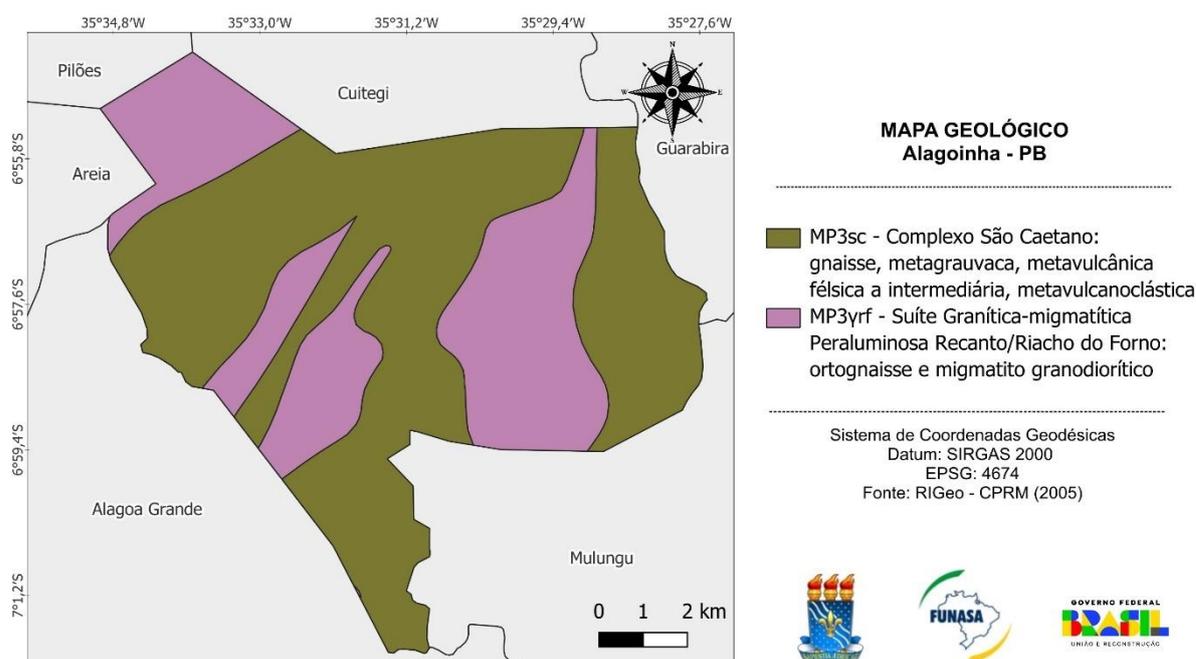


Figura 4 - Mapa geológico de Alagoinha-PB. (Adaptado de Santos et al., 2002).

A Unidade Litoestratigráfica do Complexo São Caetano é a mais representativa no município, composta por Gnaisse, Metagrauvaca, Metavulcânica félsica a intermediária e Metavulcanoclástica com cronologia do Mesoproterozóico que iniciou há 1,6 bilhões de 28 anos até 1 bilhão de anos atrás (Santos et al., 2002). Enquanto, a Suíte Granítica-migmatítica Peraluminosa Recanto/Riacho do Forno é composta por Ortognaisse e Migamatito granodiorítico, com cronologia do Mesoproterozóico que iniciou há 1,6 bilhões de anos até 1 bilhão de anos atrás (Santos et al., 2002).

O Grupo Barreiras é formado por arenitos e conglomerados, com intercalações de siltitos e argilitos com cronologia do Cenozoico que iniciou há 65,5 milhões de anos e que se estende até os dias atuais (Santos et al., 2002).

Todavia o sistema de captação de água de Alagoinha é superficial a partir do reservatório da barragem Tauá. Com isso, a geologia não tem influência direta na qualidade da água, sendo o solo um dos recursos naturais que mais influenciam na quantidade e qualidade da água.

O levantamento sobre a concentração das classes de cobertura/uso de solo em hectares para os anos de 1991; 2001; 2011 e 2021, correspondente a um período de 30 anos, descrito na tabela abaixo (**Tabela 2**). (Mapbiomas do Brasil 2023).

Tabela 2 - Classes de cobertura/uso de solo em (ha) dos anos de 1991; 2001; 2011 e 2021 da cidade de Alagoinha-PB.

Classes	Cobertura/Us	Cobertura/Us	Cobertura/Us	Cobertura/Us
	1991	2001	2011	2021
Floresta	8.266	6.107	6.447	4.725
Formação Natural não Florestal	504	532	513	544
Agropecuária	2.258	4.368	4.037	5.724
Área não vegetada	13	34	52	102
Corpo D'água	95	95	87	41

Fonte: Mapbiomas do Brasil

Analisando as classes de cobertura/uso do solo para a cidade de Alagoinha podemos observar que a classe floresta sofre um a diminuição de cerca de 42,8%, a formação natural não florestal tem a acréscimo de 7,3%, a agropecuários teve um aumento de 60%, área não vegetada em 87% e o corpo D'água teve diminuição de 56%. Os recursos hídricos podem ter tido sua diminuição em virtude da demanda da água para a produção na agropecuária.

A cobertura/uso do solo apresentada para a cidade de Alagoinha teve as seguintes características, As classes: floresta passou de 8.266ha para 4.725ha, formação natural não florestal passou de 504ha para 544ha, agropecuária passou de 2.258ha para 5.724ha, área não vegetada passou de 13ha para 102ha e os corpos D'água passou de 95ha para 41ha, sendo observado principalmente a diminuição da floresta e corpos D'água e aumento da agropecuária.

2.3.3 Geologia, tipos de solo, uso e cobertura do solo/vegetação da cidade de Curral de Cima

Os dados primários da geologia foram obtidos a partir do Mapa Geológico da Paraíba (Santos et al., 2002) e o Mapa de Geodiversidade do Estado da Paraíba (Torres & Silva, 2016) do Serviço Geológico do Brasil do Ministério de Minas e Energia.

A geologia de Curral de Cima-PB é composta pelas Unidades Litoestratigráficas Depósitos fluviomarinhos, Grupo Barreiras, Grupo Seridó, Suíte granítica-migmatítica peraluminosa e Complexo São Caetano (**Figura 5**).

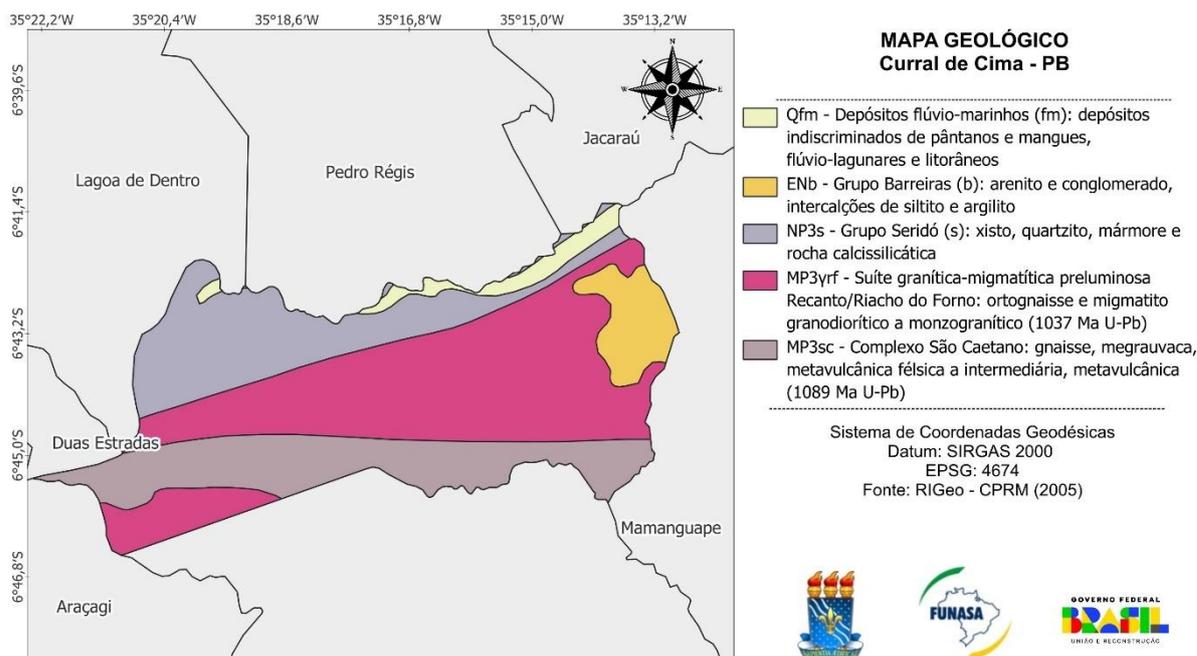


Figura 5 - Mapa Geológico de Curral de Cima-PB. (Adaptado de Santos et al., 2002).

A unidade litoestratigráfica Grupo Barreiras é formada por arenitos e conglomerados, com intercalações de siltitos e argilitos com cronologia do Cenozoico que iniciou há 65,5 milhões de anos e que se estende até os dias atuais (Santos et al., 2002). Os arenitos e conglomerados são rochas mais porosas que permitem uma maior taxa de recarga do aquífero.

A Suíte Granítica-migmatítica Peraluminosa Recanto/Riacho do Forno é composta por Ortognaisse, Migamatito e Granodiorítico, com cronologia do Mesoproterozóico. Na região noroeste do município ocorrem Granitóides indiscriminados com Granito, Granodiorito, Monzogranito do período Neoproterozóico (Santos et al., 2002).

O Complexo São Caetano é composto por rochas como Gnaiss, Metagrauvaca, Metavulcânica félsica a intermediária e Metavulcanoclástica com cronologia do Mesoproterozóico (Santos et al., 2002). Já o Complexo Seridó é formado por rochas

metamórficas, xisto, quartzito, mármore e rocha calcissilicática do período Neoproterozóico (Santos et al., 2002).

Ainda ocorre no município uma pequena faixa de unidades litoestratigráficas mais recentes do período Cenozóico, como Depósitos aluvionares de areia, cascalho e níveis de argila e Depósitos fluviomarinhas indiscriminados de pântanos e flúvio-lagunares (Santos et al., 2002).

O levantamento sobre a concentração das classes de cobertura/uso de solo em hectares nos anos de 1991; 2001; 2011 e 2021, correspondente a um período de 30 (trinta) anos, descrita na tabela abaixo (**Tabela 3**) (mapbiomas do Brasil 2023).

Tabela 3 - Classes de cobertura/uso de solo em (ha) dos anos de 1991; 2001; 2011 e 2021 da cidade de Curral de Cima - PB.

Classes	Cobertura/Us	Cobertura/Us	Cobertura/Us	Cobertura/Us
	1991	2001	2011	2021
Floresta	5.974	5.394	4.029	4.041
Formação Natural não Florestal	487	484	493	506
Agropecuária	2.168	2.740	4.074	4.051
Área não vegetada	-	2	18	18
Corpo D'água	13	23	29	26

Fonte: Mapbiomas do Brasil

Analisando as classes de cobertura/uso do solo para a cidade de Curral de Cima podemos observar que a classe floresta sofre um a diminuição de cerca de 32%, a formação natural não florestal tem a acréscimo de 3,75%, a agropecuários teve um aumento de 46,5%, área não vegetada em 100% e o corpo D'água 50%, os recursos hídricos precisaram ser elevados provavelmente em virtude da maior demanda na agropecuária e crescimento populacional.

Observando as características das classes e cobertura/uso de solo avaliadas para a cidade de Curral de Cima, podemos verificar que as classes: floresta passou de 5.974ha para 4.041ha, formação natural não florestal passou de 487ha para 506ha, agropecuária passou de 2.168ha para 4.051ha, área não vegetada passou de 0ha para 18ha e os corpos D'água passou de 13ha para 26ha, sendo observado principalmente a diminuição da floresta e aumento dos e corpos D'água e da agropecuária.

2.3.4 Geologia, tipos de solo, uso e cobertura do solo/vegetação da cidade de Itapororoca

Os dados primários da geologia foram obtidos a partir do Mapa Geológico da Paraíba (Santos et al., 2002) e o Mapa de Geodiversidade do Estado da Paraíba (Torres & Silva, 2016) do Serviço Geológico do Brasil do Ministério de Minas e Energia.

A geologia de Itapororoca e composta por Unidades Litoestratigráficas (UL) do Complexo Cabaceiras com Ortognaisse, Tonalito-Granodiorítico e intercalações de rochas Metamáficas do período Arqueano (**Figura 6**).

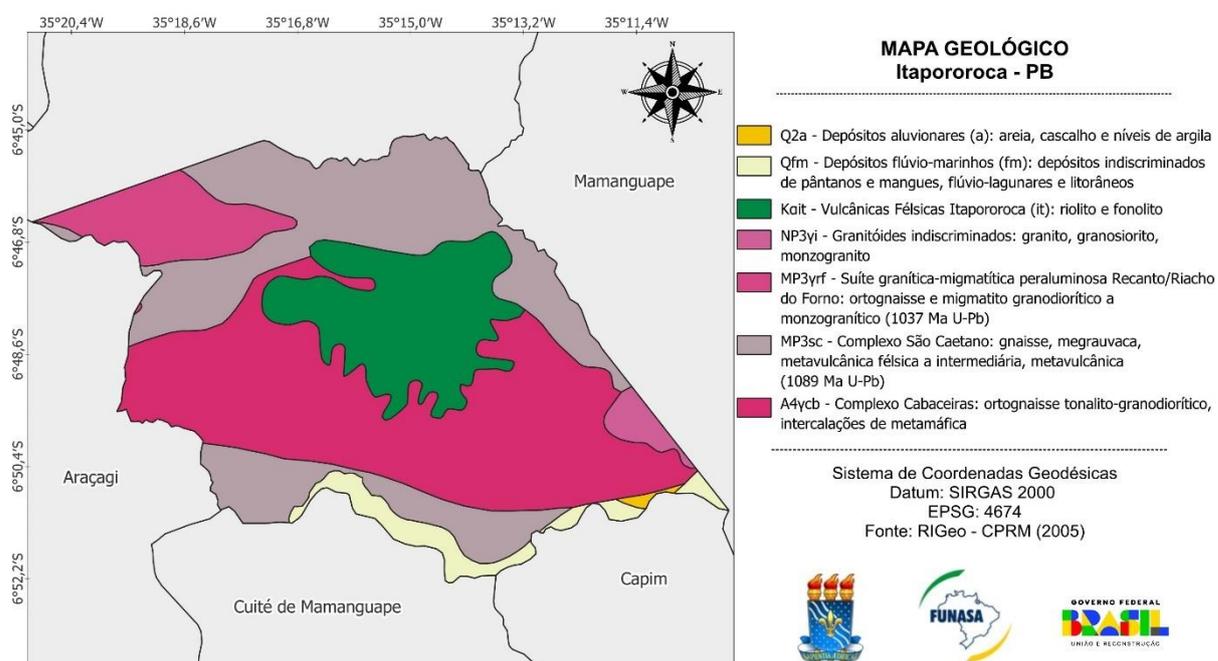


Figura 6 - Mapa Geológico de Itapororoca-PB. (Adaptado de Santos et al., 2002).

O levantamento sobre a concentração de classes de cobertura/uso de solo em hectares nos anos de 1991; 2001; 2011 e 2021, análise realizada por um período de 30 (trinta) anos estão descrita na tabela abaixo (**Tabela 4**) (mapbiomas do Brasil 2023)

Tabela 4 - Classes de cobertura/uso de solo em (ha) dos anos de 1991; 2001; 2011 e 2021 da cidade de Itapororoca-PB.

Classes	Cobertura/Us	Cobertura/Us	Cobertura/Us	Cobertura/Us
	1991	2001	2011	2021
Floresta	10.655	9.648	8.203	7.326
Formação Natural não Florestal	1.006	1.012	1.013	1.054
Agropecuária	2.824	3.786	5.195	5.946
Área não vegetada	23	45	78	189
Corpo D'água	72	89	92	65

Fonte: Mapbiomas do Brasil

Analisando as classes de cobertura/uso do solo para a cidade de Itapororoca podemos observar que a classe floresta sofre um a diminuição de cerca de 31%, a formação natural não florestal apresentou acréscimo de 4,5%, a agropecuários teve um aumento de 52%, área não vegetada em 87% e o corpo D'água teve diminuição de 9,7%, apresentando pouca influência sobre a demanda de água para a agropecuária e abastecimento populacional.

Para a cidade de Itapororoca as classes de cobertura/uso do solo apresentada, tiveram as seguintes características. As classes: floresta passou de 10.655ha para 7.326ha, formação natural não florestal passou de 1006ha para 1054ha, agropecuária passou de 2.824ha para 5.946ha, área não vegetada passou de 23ha para 189ha e os corpos D'água passou de 72ha para 65ha, sendo observado principalmente a diminuição da floresta e corpos D'água e aumento da agropecuária.

2.3.5 Geologia, tipos de solo, uso e cobertura do solo/vegetação da cidade de Riachão do Poço

Os dados primários da geologia foram obtidos a partir do Mapa Geológico da Paraíba (Santos et al., 2002) e o Mapa de Geodiversidade do Estado da Paraíba (Torres & Silva, 2016) do Serviço Geológico do Brasil do Ministério de Minas e Energia.

A geologia de Riachão do Poço é composta por Unidades Litoestratigráficas do Grupo Barreiras e do embasamento cristalino do Complexo Sertânia e Complexo Cabaceiras (**Figura 7**).

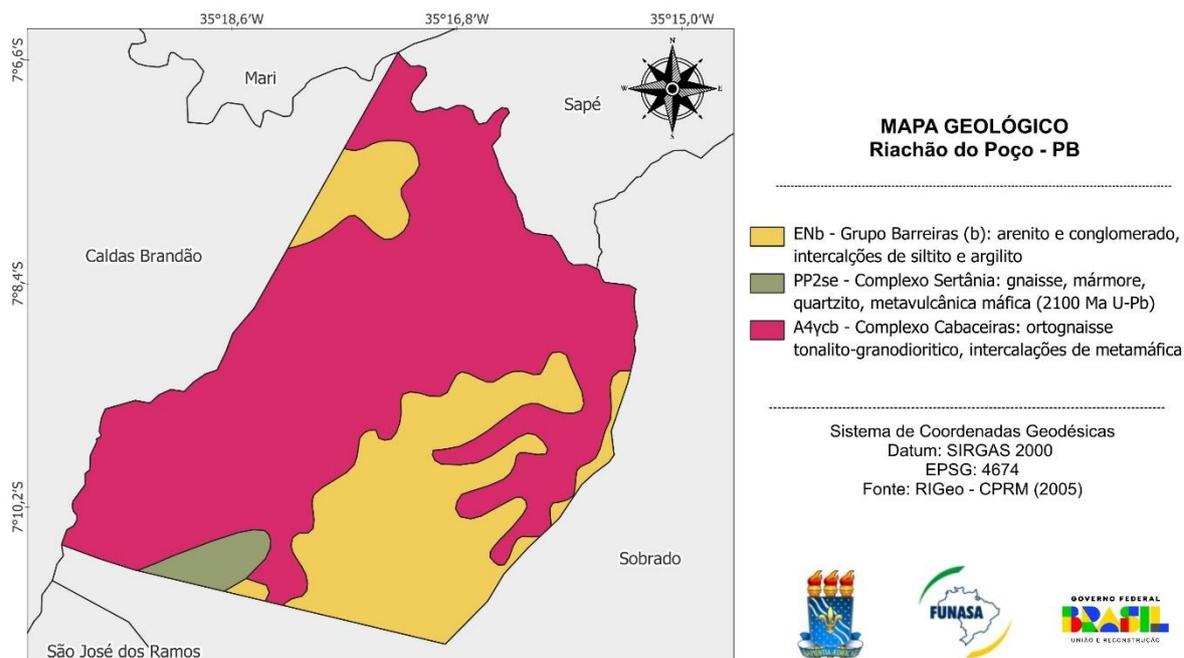


Figura 7 - Mapa Geológico de Riachão do Poço-PB. (Adaptado de Santos et al., 2002).

O Grupo Barreiras é formado por arenitos e conglomerados, com intercalações de siltitos e argilitos com cronologia do Cenozoico que iniciou há 65,5 milhões de anos e que se estende até os dias atuais (Santos et al., 2002). Principalmente os arenitos e conglomerados são rochas mais porosas que permitem uma maior taxa de recarga do aquífero.

O complexo sertânia é composto por gnaisses, mármore, quartzitos, metavulcânicas máficas, com cronologia do Paleoproterozóico entre há 2,5 bilhões de anos e 1,6 bilhões de anos (Santos et al., 2002).

O Complexo Cabaceiras é formado por ortognaisses tonalito-granodioríticos, com intercalações de rochas metamáficas com cronologia do Arqueano compreendido aproximadamente entre 4 e 2,5 bilhões de anos (Santos et al., 2002).

As unidades litoestratigráficas do Complexo Sertânia e do Cabaceiras são rochas muito pouco porosas e taxa de recarga do aquífero nestas áreas é baixa, ocorrendo apenas em fraturas nas rochas.

O levantamento sobre a concentração das classes de cobertura/uso de solo em hectares nos anos de 1991; 2001; 2011 e 2021, analisadas por um período de 30 (trinta) anos estão descritas na tabela abaixo (**Tabela 5**) (mapbiomas do Brasil 2023).

Tabela 5 - Classes de cobertura/uso de solo em (ha) dos anos de 1991; 2001; 2011 e 2021 da cidade de Riachão do Poço-PB.

Classes	Cobertura/Usos: 1991	Cobertura/Usos: 2001	Cobertura/Usos: 2011	Cobertura/Usos: 2021
Floresta	2.708	2.230	2.293	1.659
Formação Natural não Florestal	146	149	147	157
Agropecuária	1.152	1.623	1.549	2.138
Área não vegetada	0	8	18	70
Corpo D'água	40	38	39	23

Fonte: Mapbiomas do Brasil

Analisando as classes de cobertura/uso do solo para a cidade de Riachão do Poço podemos observar que a classe floresta sofre um a diminuição de cerca de 38%, a formação natural não florestal apresentou acréscimo de 7%, a agropecuários teve um aumento de 46%, área não vegetada em 100% e o corpo D'água teve diminuição de 42,5%, essa diminuição nos corpos D'água pode promover queda na produção agropecuária e influência negativa na economia local.

As classes de classes de cobertura/uso do solo apresentada para a cidade de Riachão do Poço, tiveram as seguintes características. As classes: floresta passou de 2.708ha para 1.659ha, formação natural não florestal passou de 146ha para 157ha, agropecuária passou de 1.154ha para 2.138ha, área não vegetada passou de 0ha para 70ha e os corpos D'água passou de 40ha para 23ha, sendo observado principalmente a diminuição da floresta e corpos D'água e aumento da agropecuária.

Quanto as classes de cobertura/uso do solo, levantamos dados quantitativos com referência aos anos de 1991, 2001, 2011 e 2021, por um período de 30 (trinta) anos, as classes de cobertura/uso de solo analisadas foram as seguintes: Floresta; Formação Natural não florestal; Agropecuária; Área não vegetada e corpos D'água, como essa análise podemos entender que as modificações que ocorreram nas classes de cobertura/uso do solo neste período de tempo tiveram intervenções antrópicas, observação realizada em virtude da diminuição de áreas naturais e elevação da agropecuária.

Com análise sobre as classes de cobertura/uso dos solos, entendemos que o ciclo do carbono pode sofrer modificações, modificações essas que podem ser benéficas e ou prejudiciais ao ecossistema, tendo em vista que quanto maior for os agentes de liberação de gases que aceleram o efeito estufa e quanto menor forem as áreas com agentes autotróficos do solo, menor será o quantitativo de CO₂ sequestrado da atmosfera e conseqüentemente menor o estoque de carbono no solo. Todavia, o fluxo de CO₂ – gás carbônico, no solo tem relação direta ao crescimento das florestas, que são formadas por agentes que produzem compostos orgânicos que são depositados no ecossistema e em seguida são decompostos pelos organismos decompositores, compostos estes que são armazenados ao solo.

2.4 Classes de solo

2.4.1 Classes de solos de Alagoinha

De acordo com o levantamento exploratório, a cidade de Alagoinha apresenta 6 (seis) tipos de classes de solos (**figura. 8**), (EMBRAPA, Solos, 2020). Foram abertas 4 (quatro) trincheiras identificadas de AL01; AL02; AL03 e AL04, correspondendo morfologicamente as seguintes classes de solos: Neossolo Litólico; Neossolo Litólico; Cambissolo Háptico e Luvisolo Crômoco. O critério escolhido para abertura das trincheiras, foram as principais fontes de abastecimentos (corpos D'água) do município.

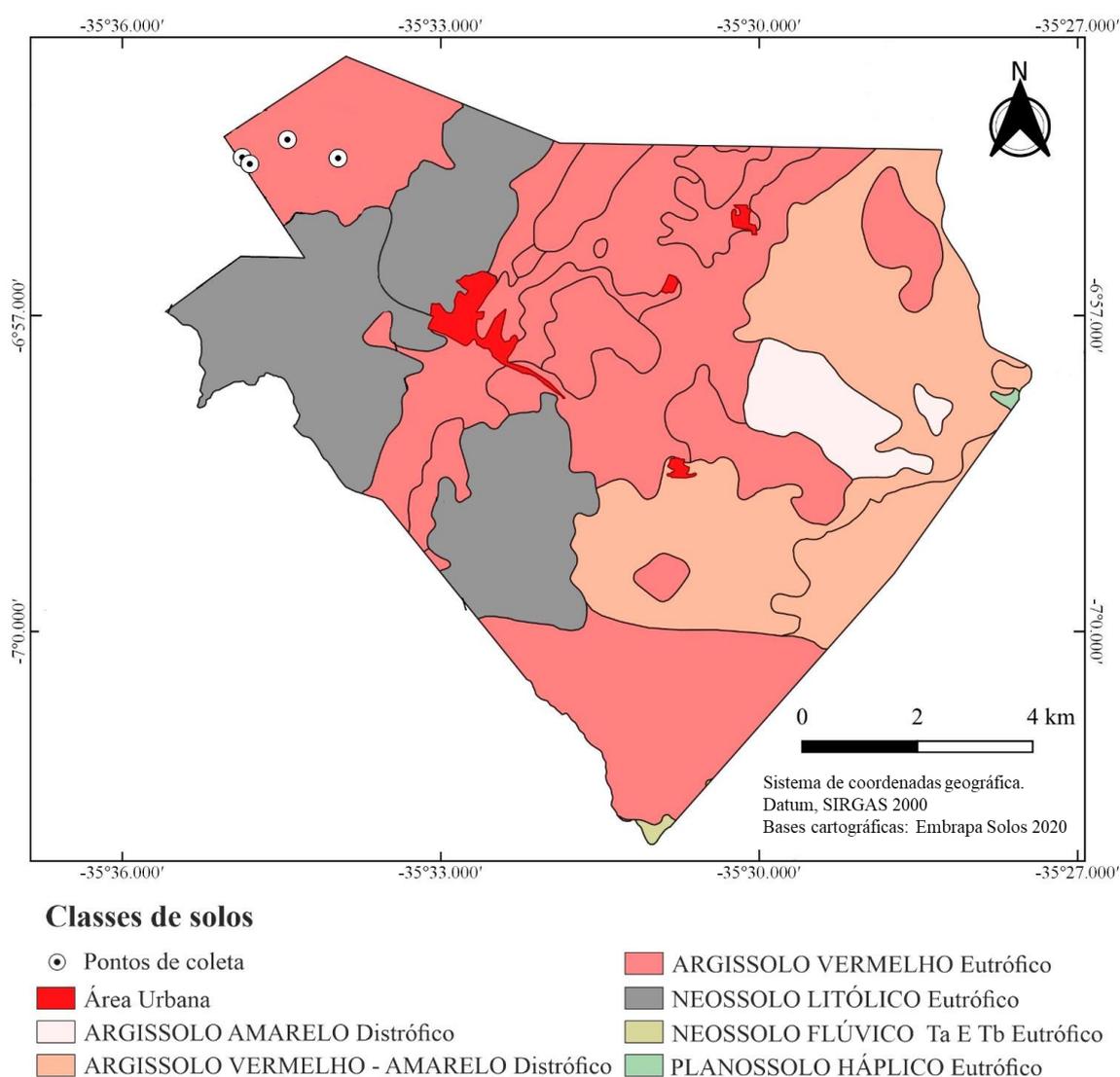


Figura. 8 – Mapa de solos de Alagoíinha e localização dos pontos de coletas.

2.4.2 Classes de solos de Curral de Cima

De acordo com o levantamento exploratório, a cidade de Curral de Cima apresenta 7 (sete) tipos de classes de solos (**figura. 9**), (EMBRAPA, Solos, 2020). No referido município foram abertas 7 (sete) trincheiras identificadas de AL1; AL Bambú; PC; P. Bibiu e BB1, BB2 e BB3, correspondendo morfologicamente as seguintes classes de solo: Argissolo Vermelho; Argissolo Vermelho; Gleissolo Háplico; Gleissolo Háplico; Argissolo Vermelho; Plintossolo Háplico e Neossolo Quartzarênico. O critério escolhido para abertura das trincheiras, foram as principais fontes de abastecimentos (corpos d'água) do município.

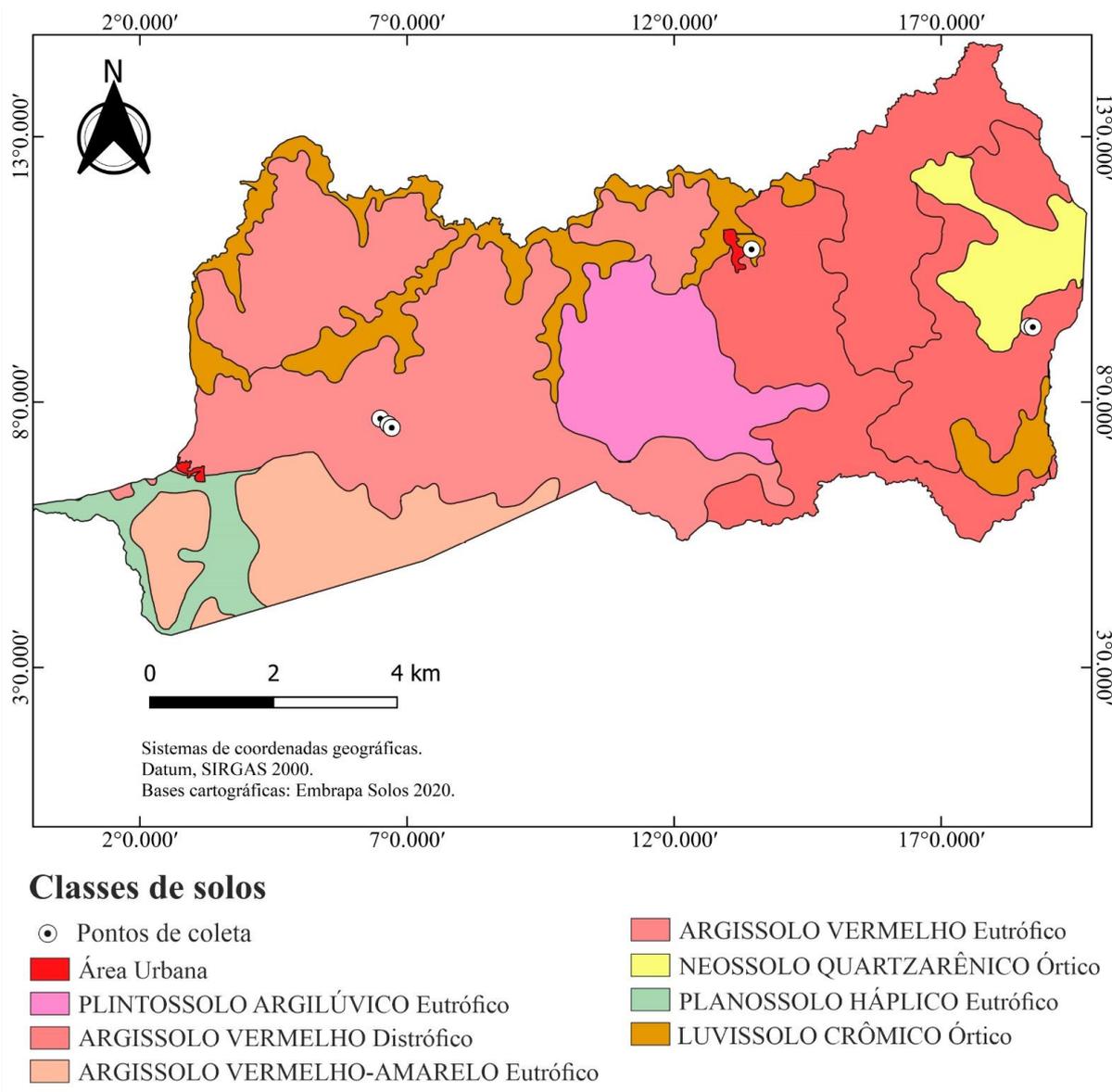


Figura. 9 – Mapa de solos de Cural de Cima e localização dos pontos de coleta.

2.4.3 Classes de solos e morfologia de Itapororoca

De acordo com o levantamento exploratório, a cidade de Itapororoca apresenta 9 (nove) tipos de classes de solos (**figura. 10**), (EMBRAPA, Solos, 2020). No referido município foram abertas 3 (três) trincheiras identificadas de Ita1, Ita2 e Ita3, correspondendo as seguintes classes de solo: Cambissolo Háplico, Cambissolo Háplico e Argissolo Vermelho-Amarelo. O critério escolhido para abertura das trincheiras, foram as principais fontes de abastecimentos (corpos D'água) do município.

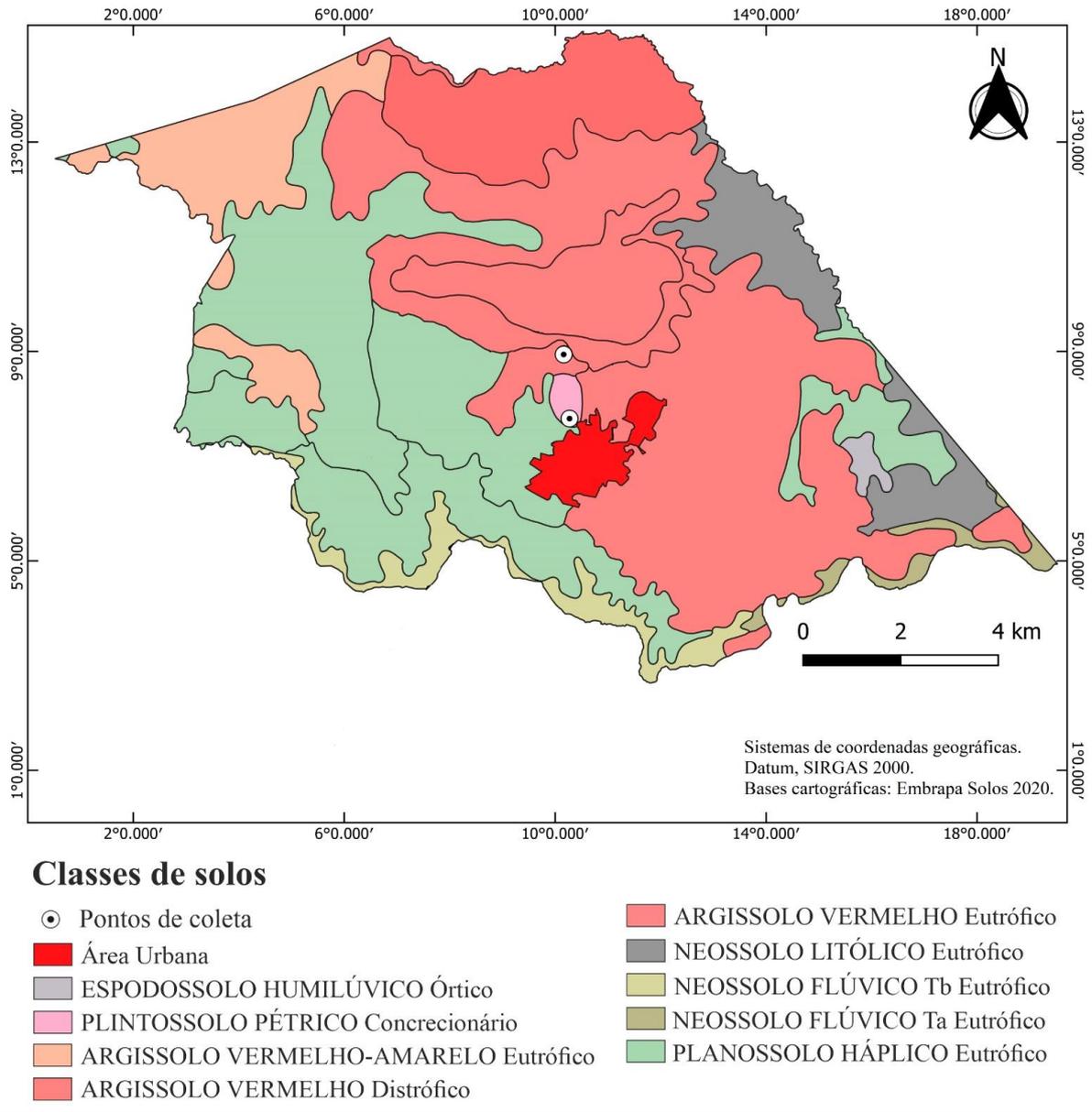


Figura. 10 – Mapa de solos de Itapororoca e localização dos pontos de coleta.

2.4.4 Classes de solos e morfologia de Riachão do Poço

De acordo com o levantamento exploratório, a cidade de Curral de Cima apresentou 2 (duas) classes de solos (**figura. 11**), (EMBRAPA, Solos, 2020). No referido município foram abertas 3 (três) trincheiras identificadas de RPRL1, RP2 e RP3, identificadas morfologicamente nas seguintes classes de solo: Luvisolo Crômico, Neossolo Rigolítico e Argissolo Vermelho-Amarelo. O critério escolhido para abertura das trincheiras, foram as principais fontes de abastecimentos (corpos D'água) do município.

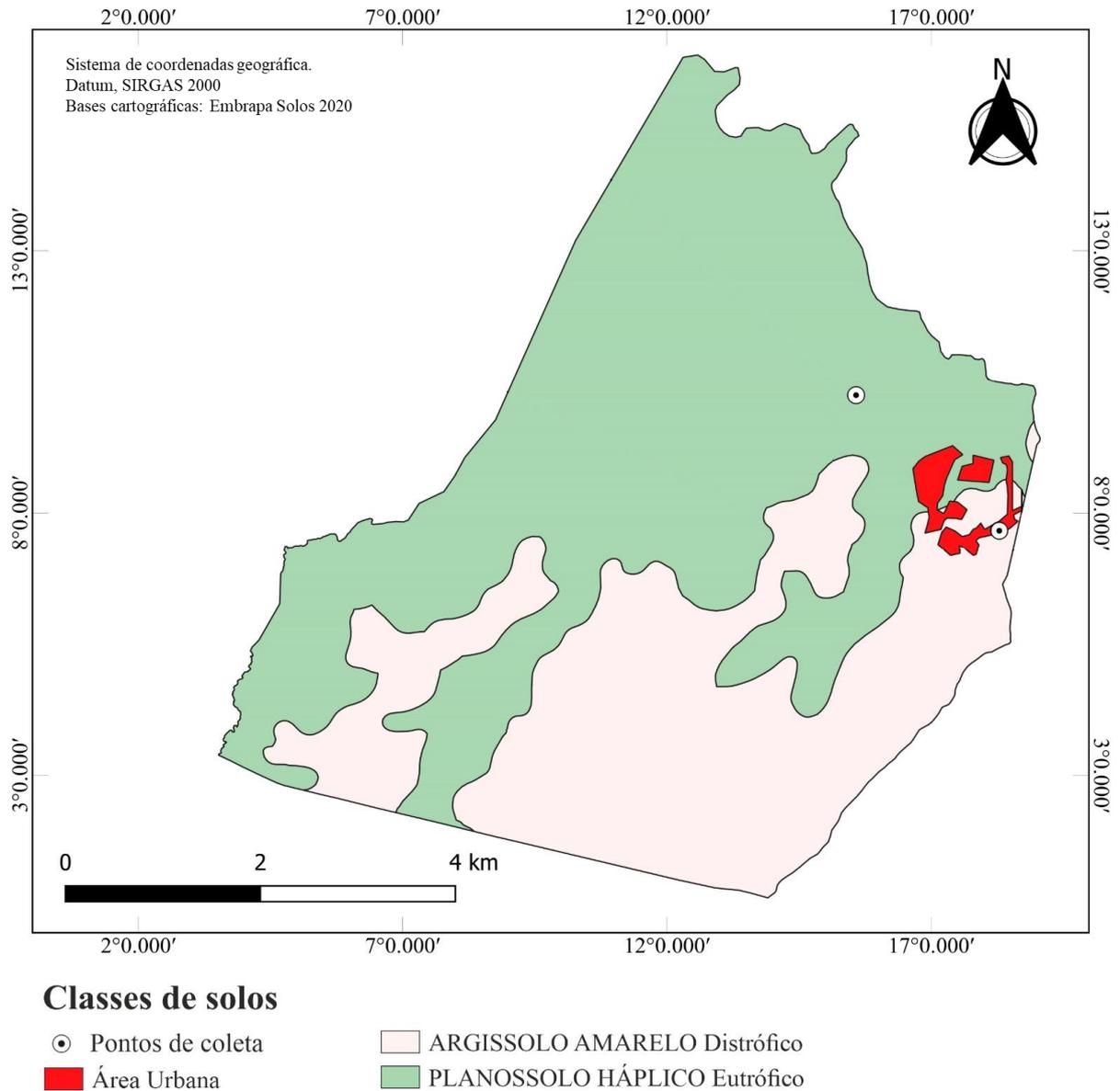


Figura. 11 – Mapa de solos da cidade de Riachão do Poço e localização dos pontos de coleta.

2.5 Análise do IDH das cidades estudadas

Um ponto importante que foi observado nas cidades de implementação dos PSAs – Planos de Segurança da Água, foi o crescimento do IDH – Índice de Desenvolvimento Humano, verificado por um período de 20 (vinte) anos (IBGE, 2023), este índice para as cidades estudadas, tiveram aumentos deste indicador de qualidade econômica, valores verificados na tabela abaixo (**Tabela 6**).

Tabela 6 - Classificação do Índice de Desenvolvimento Humano nas cidades de Alagoinha, Curral de Cima, Itapororoca e Riachão do Poço por um período de 20 (vinte) anos.

Cidade	Valores do IDH			
	Ano	1991	2000	2021
Alagoinha		0,257	0,411	0,595
Curral de Cima		0,131	0,308	0,529
Itapororoca		0,281	0,394	0,564
Riachão do Poço		0,222	0,381	0,555

Fonte: IBGE 2023

2.6 Discussão

É de suma importância estudar a concentração de carbono estocado no solo, pois o carbono no sistema tem relação com a regulação e retenção de água, ficando compreendido que quanto maior for a quantidade de carbono presente no solo maior será a concentração e qualidade de água disponível no ecossistema de acordo com Adhikari & Hartemink, 2016; Allen et al., 2005; Keenan & Williams, 2018, quanto maior a concentração de carbono no solo melhor será as condições ambientais e principalmente de diminuição da temperatura do planeta terra, destacando aqui que o serviço ecossistêmico de estoque de carbono é primordial para o equilíbrio da vida do planeta (Rice et al., 2022).

O clima tropical afeta os níveis de estoque de carbono nos solos, pois as altas temperaturas aceleram as taxas de decomposição, diminuindo a concentração de matéria orgânica no solo (Jamtalia, 2006; Silva, 2015), o aumento da temperatura do solo pode sofrer influências de diversos fatores, como o desmatamento, mudanças no uso e cobertura do solo, manejo inadequado e diversas práticas de degradação do ecossistema (Jamtalia, 2006; Silva, 2015).

As classes de solos desempenham por suas particularidades físico/químicas maior estocagem de carbono ao solo (Marques et al., 2016; Minasny et al., 2018; Santana et al., 2019). Através de levantamento exploratório as cidades de Alagoinha, Curral de Cima, Itapororoca e Riachão do Poço apresentaram as seguintes classes de solo: Argissolos Vermelho Distrófico; Argissolos Vermelho Eutrófico; Argissolos Vermelho Amarelo Distrófico; Argissolos Vermelho Amarelo Eutrófico; Argissolos Amarelo Distrófico; Neossolos Litólicos Eutróficos; Neossolos Flúvico Ta E Tb Eutrófico; Neossolos Regolíticos; Neossolo Quartzarênico Órtico;

Planossolos Háptico Eutrófico; Luvisolos Crômicos Órticos e Latossolos Vermelho Distrófico; Plintossolo Argilúvico Eutrófico; Plintossolo Pétrico Concrecionário; Espondossolo Humilúvico Órtico. (Embrapa Solos, 2020).

As classes de solo têm papel primordial no processo do serviço ecossistêmico de estoque de carbono, assim, destacando que solos com maior concentração de argila tendem a apresentar maior quantidade de carbono, em virtude da matéria orgânica se ligar com maior força as partículas pelo motivo desta classe de solo apresentarem elevada superfície específica. (Marques et al., 2016; Minasny et al., 2018; Santana et al., 2019). Já os solos arenosos apresentam quantidade de carbono potencialmente menor em virtude da disposição do carbono no sistema, nestes solos o carbono fica prontamente disponível para a ação dos organismos decompositores, as superfícies das partículas são menores bem como a densidade da carga potencial, o que impede que as partículas formem ligações com a matéria orgânica. Por este motivo os solos arenosos são pobres em complexos orgânominerais (Raij, 1969; Silva, 2012; Silva, 2015).

A classe de cobertura/uso do solo agropecuária, teve aumento significativo em todas as cidades estudadas, podendo ter relação com a elevação do IDH – Índice de Desenvolvimento Humano dos municípios que tiveram aumento significativo na escala de 20 (vinte) anos (Mapbiomas Brasil, 2023, IBGE, 2023). Outro aspecto para a elevação do IDH pode ser também a implementação dos programas sociais do governo que elevou a renda per capita dos municípios nas últimas décadas (IBGE, 2023).

2.7 Conclusão

O estudo dos solos deve ser levado em consideração para que haja o fortalecimento da metodologia dos Planos de Segurança Água. Tendo em vista que o solo é o principal estratificados dos ambientes, e tem influência direta sobre todos os ecossistemas terrestres. Para isso se faz necessário o estudo do serviço ecossistêmico de estoque de carbono do solo, que sua concentração fornece características sobre a provisão e regulação da água nos sistemas (Andrade & Romeiro, 2009; Costanza et al., 1997; Pereira et al., 2018).

A temperatura do ambiente também afeta os níveis de estoque de carbono nos solos. (Jamtalia, 2006; Silva, 2015).

As classes de solos também dever ser analisadas para o fortalecimento do PSAs, pois sua constituição físico/química influi na constituição de matéria orgânica no solo, e quanto maior a concentração de matéria orgânica nos agregados maior será a disponibilidade de água

no sistema, bem como sua qualidade (Marques et al., 2016; Minasny et al., 2018; Santana et al., 2019).

As classes de cobertura/uso do solo, nos fornece uma avaliação sobre as ações do homem ao longo do tempo, que podem ser benéficas ou prejudiciais ambientalmente e ou economicamente, fazendo-nos repensar que as ações antrópicas no ambiente devem seguir uma vertente que concilie o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade.

O principal ponto de nosso estudo é a quantificação de carbono nos solos que tanto tem importância ambiental quanto econômica. Pois quanto maior for o estoque de carbono no solo mais elevado será seus benefícios ambientais como regulação da temperatura, variações climáticas, diminuição dos gases do efeito estufa e regulação e retenção de água nos sistemas e economicamente o serviço ecossistêmico de estoque de carbono no solo pode ser convertido em créditos de carbono por meios de projetos voluntários que valoram em toneladas de gás carbônico sequestrados no solo (BNDES – Credcarb, 2023).

2.8 Referências

ADHIKARI, K., HARTEMINK, A.E., **Linking soils to ecosystem services** — A global review. *Geoderma* 262, 101–111. 2016.

ALLEN, A.P., GILLOOLY, J.F., BROWN, J.H., **Linking the global carbon cycle to individual metabolism**. *Funct. Ecol.* 19, 202–213. 2005.

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G., Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 2013.

ANDRADE, D.C., ROMEIRO, A.R., **Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano**. Texto para Discussão. IE/UNICAMP, Campinas, n. 155, fev. 2009.

BATJES, N.H., SOMBROEK, W.G., **Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils**. *Glob. Change Biol.* 3, 161–173. 1997.

BIGAS, H., **Water security and the global water agenda: a UN-water analytical brief**. *United Nations University - Institute for Water, Environment and Health*, Hamilton, Ont. 2013.

BNDES - CREDITO DE CARBONO - <https://credcarbo.com>. Disponível em: <https://credcarbo.com/carbono/qual-o-valor-de-1-credito-de-carbonotonelada-de-co2-no-mercado-internacional-hoje/> - Acessado em 13 de novembro de 2023

BORTOLUZZI, E.C., RHEINHEIMER, D. DOS S., PETRY, C., KAMINSKI, J., **Contribuição de constituintes de solo à capacidade de troca de cátions obtida por diferentes métodos de extração**. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 33, 507–515. 2009.

CARDOSO, E.L., SILVA, M.L.N., SILVA, C.A., CURTI, N., FREITAS, D.A.F. DE., **Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal**. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 45, 1028–1035. 2010.

COLE, J.J., HARARUK, O., SOLOMON, C.T., Chapter 7 - **The Carbon Cycle: With a Brief Introduction to Global Biogeochemistry**, in: Weathers, K.C., Strayer, D.L., Likens, G.E. (Eds.), *Fundamentals of Ecosystem Science* (Second Edition). Academic Press, pp. 131–160. 2021.

COSTANZA, R., RALPH D'ARGE, RUDOLF DE GROOT, STEPHEN FARBERLL, MONICA GRASSOT, BRUCE HANNON, KARIN LIMBURG, SHAHID NAEEM, ROBERT V. O'NEILLTT, JOSE PARUELO, ROBERT G. RASKIN, PAUL SUTTONLLLL & MARJAN VAN DEN BELT., **The value of the world's ecosystem services and natural capital**. Department of Systems Ecology, University of Stockholm, S-106 91 Stockholm, Sweden. 1997.

DALY, H.E., FARLEY, J.C., **Ecological economics: principles and applications**. Island Press, Washington. 2004.

EMBRAPA - RECONHECIMENTO DE SOLOS DO ESTADO DA PARAÍBA - <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/>. Disponível em: **Mapa exploratório - reconhecimento de solos do estado da Paraíba** — geoinfo.cnps.embrapa.br - Acessado em 15 de maio de 2023

FERNANDES, F.A., FERNANDES, A. H. B. M., **Atualização dos Métodos de Cálculo dos Estoques de Carbono do Solo sob Diferentes Condições de Manejo**. Comunicado técnico. EMBRAPA, Corumbá – MS, 2013.

FRAGA, M.E., BRAZ, D.M., ROCHA, J.F., PEREIRA, M.G., FIGUEIREDO, D.V., **Interação microrganismo, solo e flora como condutores da diversidade na Mata Atlântica**. *Acta Bot. Bras.* 26, 857–865. 2012.

GROOT, R.S., WILSON, M.A., BOUMANS, R.M.J., **A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services**. *Ecol. Econ.* 41, 393–408. 2002.

HUGONI, M., NUNAN, N., THIOULOUSE, J., DUBOST, A., ABROUK, D., MARTINS, J.M.F., GOFFNER, D., PRIGENT-COMBARET, C., GRUNDMANN, G., **Small-Scale Variability in Bacterial Community Structure in Different Soil Types**. *Microb. Ecol.* 82, 470–483. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Cidades e Estados, 2022. Disponível em Brasil | Cidades e Estados | IBGE. Acessado em 18 de maio de 2023.

JANTALAIÁ, C.P. **Mudanças no estoque de C do solo em áreas de produção de grãos: avaliação do impacto do manejo do solo**. In: ALVES, B.J.R. et al. (Ed). **Manejo de sistemas agrícolas: Impactos no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Gênese, 2006. p. 35-57.

JÓNSSON, J.Ö.G., DAVÍÐSDÓTTIR, B., **Classification and valuation of soil ecosystem services**. *Agric. Syst.* 145, 24–38. 2016.

JÖRGENSEN, K., GRANATH, G., LINDAHL, B.D., STRENGBOM, J., **Forest management to increase carbon sequestration in boreal *Pinus sylvestris* forests**, <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05038-0> 1573-5036. *Plant Soil* 466, 165–178. 2021.

KEENAN, T.F., WILLIAMS, C.A., **The Terrestrial Carbon Sink**. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 43, 219–243. 2018.

LAL, R., **Managing Soils and Ecosystems for Mitigating Anthropogenic Carbon Emissions and Advancing Global Food Security**. *BioScience* 60, 708–721. 2010.

Lal, R., **Soil carbon dynamics in cropland and rangeland**. *Environ. Pollut.* Elsevier. *Environmental Pollution* 116 (2002) 353–362 2002.

LOPES SIMEDO, M.B., PISSARRA, T.C.T., MELLO MARTINS, A.L., LOPES, M.C., ARAÚJO COSTA, R.C., ZANATA, M., PACHECO, F.A.L., FERNANDES, L.F.S., **The Assessment of Hydrological Availability and the Payment for Ecosystem Services: A Pilot Study in a Brazilian Headwater Catchment**. *Water* 12, 2726. 2020.

M. BRANDER, L., J. WAGTENDONK, A., S. HUSSAIN, S., MCVITTIE, A., VERBURG, P.H., DE GROOT, R.S., VAN DER PLOEG, S., **Ecosystem service values for mangroves in Southeast Asia: A meta-analysis and value transfer application**. *Ecosyst. Serv.* 1, 62–69. 2012.

MAPBIOMAS - **Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://plataforma.mapbiomas.org/>. Acessado em 15 de maio de 2023.

MARQUES, J.D. DE O., LUIZÃO, F.J., TEIXEIRA, W.G., VITEL, C.M., MARQUES, E.M. DE A., **Soil organic carbon, carbon stock and their relationships to physical attributes under forest soils in central amazonia**. *Rev. Árvore* 40, 197–208. 2016.

Millennium Ecosystem Assessment (Program) (Ed.), **Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis: a report of the Millennium Ecosystem Assessment**. World Resources Institute, Washington, DC. 2005.

MINASNY, B., ARROUAYS, D., MCBRATNEY, ALEX.B., ANGERS, D.A., CHAMBERS, A., CHAPLOT, V., CHEN, Z.-S., CHENG, K., DAS, B.S., FIELD, D.J., GIMONA, A., HEDLEY, C., HONG, S.Y., MANDAL, B., MALONE, B.P., MARCHANT, B.P., MARTIN, M., MCCONKEY, B.G., MULDER, V.L., O’ROURKE, S., RICHER-DE-FORGES, A.C., ODEH, I., PADARIAN, J., PAUSTIAN, K., PAN, G., POGGIO, L., SAVIN, I., STOLBOVOY, V., STOCKMANN, U., SULAEMAN, Y., TSUI, C.-C., VÅGEN, T.-G., VAN WESEMAEL, B., WINOWIECKI, L., **Rejoinder to Comments on Minasny et al., 2017 Soil carbon 4 per mille Geoderma** 292, 59–86. *Geoderma* 309, 124–129. 2018.

PARRON, L.M., GARCIA, J.R., DE OLIVEIRA, E.B., BROWN, G.G., PRADO, R.B., **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.9, p.1021-1038, set. 2016

PEREIRA, P., BOGUNOVIC, I., MUÑOZ-ROJAS, M., BREVIK, E.C., **Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management**. *Curr. Opin. Environ. Sci. Health* 5, 7–13. 2018.

PRADO, R.B., FIDALGO, E.C.C., MONTEIRO, J.M.G., SCHULER, A.E., VEZZANI, F.M., GARCIA, J.R., OLIVEIRA, A.P. DE, VIANA, J.H.M., PEDREIRA, B. DA C.C.G., MENDES, I. DE C., REATTO, A., PARRON, L.M., CLEMENTE, E. DE P., DONAGEMMA, G.K., TURETTA, A.P.D., SIMÕES, M., **Current overview and potential applications of the soil ecosystem services approach in Brazil**. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 51, 1021–1038. 2016.

RAIJ, B. VAN., **A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos**. *Bragantia* 28, 85–112. 1969.

Rice, C.W., Pires, C.B., Sarto, M.V.M., **Carbon cycle in soils: Dynamics and management, in: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**. Elsevier, p. B9780128229743002000. 2022.

SANTANA, M. DA S., SAMPAIO, E.V. DE S.B., GIONGO, V., MENEZES, R.S.C., JESUS, K.N. DE, ALBUQUERQUE, E.R.G.M. DE, NASCIMENTO, D.M. DO, PAREYN, F.G.C., CUNHA, T.J.F., SAMPAIO, R.M.B., PRIMO, D.C., **Carbon and nitrogen stocks of soils under different land uses in Pernambuco state, Brazil**. *Geoderma Reg.* 16, e00205. 2019.

SANTOS, E.D, FERREIRA, C.A., DA SILVA JR, J.M.F., **Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba**. CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO Bras. 2002.

SILVA, E. A., **Frações de carbono em topossequências de solos sob eucalipto com diferentes históricos de uso**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.36, p. 1167 - 1178, 2012.

SILVA, L.J., **Estoque de Carbono e nitrogênio de solos e sua relação com os atributos químicos do solo, água e sedimentos marginais como indicadores de manejo e conservação de ecossistemas na Bacia do Rio Paraopeba – MG**. Dissertação - UFV – Florestal/MG, 2015.

SIX, J., CONANT, R.T., PAUL, E.A., PAUSTIAN, K., **Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils**. Plant and Soil 241: 155–176, Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. 2002.

TORRES, F. S. M & SILVA, E P., **Geodiversidade do estado da Paraíba – CPRM**, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION., **Guidelines for drinking-water quality**: fourth edition incorporating first addendum, 4th ed + 1st add. ed. World Health Organization, Geneva. 2017.

ZHAO, T., WANG, Y., **Interpolation and stratification of multilayer soil property profile from sparse measurements using machine learning methods**. Eng. Geol. 265, 105430. 2020.

3 CAPITULO 2 - SERVIÇO ECOSISTÊMICO DE ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO NAS CIDADES DE IMPLIMENTAÇÃO DO PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA NA PARAÍBA

Resumo

As classes de cobertura/uso do solo e o manejo podem afetar a qualidade dos serviços ecossistêmicos ofertados pelo solo. O serviço ecossistêmico do solo (SES) de estoque de carbono (C) é um dos principais serviços ofertados pelo ecossistema que beneficia todos os seus agentes sejam eles bióticos ou abióticos. Assim como as classes de cobertura/uso, as classes de solos, afetam a concentração de carbono estocado no sistema, o quantitativo deste carbono presente no solo dispõe informações sobre a qualidade ambiental e principalmente sobre a quantidade e qualidade da água presente no ecossistema. Neste trabalho analisamos os estoques de carbono nas principais classes de solo das cidades de implementação dos Planos de Segurança da Água, nas cidades de Alagoinha, Curral de Cima, Itapororoca e Riachão do Poço, para assim fortalecer a metodologia destes planos como base no principal ponto de provisão e regulação da água, que é o solo. Todas as classes de solos analisadas apresentaram estoques de carbono que podem através de projetos pleitear créditos de carbono, demonstrando que estes ambientes são drenos de carbono atmosférico, tendo destaque a cidade de Alagoinha como o maior estoque variando entre 36 e 403 Mg ha⁻¹, seguidos de Riachão do Poço que apresentou variação entre 9,5 e 178 Mg ha⁻¹, Itapororoca que variou entre 8,9 à 96 Mg ha⁻¹ e a cidade de Curral de Cima obteve os menores estoques com valores entre 2 à 61 Mg ha⁻¹, ficando compreendido que todas as cidades estudadas caracterizaram potencial ambiental e econômico, podendo através desta quantificação pleitear créditos de carbono através de projetos voluntários. Como as classes de solos das cidades analisadas apresentaram quantidade significativas de carbono estocado em seus solos, entendemos que estes solos apresentam bons atributos físicos, químicos e biológicos, sendo o carbono primordial na regulação e retenção da água no ecossistema, e na diminuição dos gases que aceleram as ações do efeito estufa.

Palavras-chave: Cobertura/uso do solo; Ecossistema; Serviço Ecossistêmico de Estoque de Carbono; Créditos de Carbono.

3 CHAPTER 2 - ECOSYSTEM SERVICE OF SOIL CARBON STOCK IN CITIES IMPLEMENTING THE WATER SECURITY PLAN IN PARAÍBA

Abstract

Land cover/use classes and management can affect the quality of the ecosystem services offered by the soil. The soil ecosystem service (SES) of carbon (C) stock is one of the main services offered by the ecosystem that benefits all its agents, whether biotic or abiotic. Just as cover/use classes and soil classes affect the concentration of carbon stored in the system, the amount of carbon present in the soil provides information on environmental quality and especially on the quantity and quality of water present in the ecosystem. In this work we analyzed the carbon stocks in the main soil classes in the cities where the Water Security Plans are implemented, in the cities of Alagoinha, Curral de Cima, Itapororoca and Riachão do Poço, in order to strengthen the methodology of these plans based on the main point of water provision and regulation, which is the soil. All the soil classes analyzed had carbon stocks that could be used in projects to claim carbon credits, demonstrating that these environments are drains of atmospheric carbon, with the city of Alagoinha having the largest stock, ranging from 36 to 403 Mg ha⁻¹, followed by Riachão do Poço, which had a range of 9, 5 and 178 Mg ha⁻¹, Itapororoca which ranged from 8.9 to 96 Mg ha⁻¹ and the town of Curral de Cima had the lowest stocks with values ranging from 2 to 61 Mg ha⁻¹. It is understood that all the towns studied have characterized environmental and economic potential, and can use this quantification to claim carbon credits through voluntary projects. As the soil classes of the cities analyzed showed significant amounts of carbon stored in their soils, we understand that these soils have good physical, chemical and biological attributes, with carbon being essential in regulating and retaining water in the ecosystem, and in reducing the gases that accelerate the actions of the greenhouse effect.

Keywords: Land cover/use; Ecosystem; Carbon Stock Ecosystem Service; Carbon Credits.

3.1 Introdução

O estoque de carbono (C) é um serviço ecossistêmico do solo (SES) que pode ser modificado em virtude da cobertura/uso e manejo do solo, essas modificações podem afetar a qualidade do ambiente. Sabemos que fatores biológicos e ambientais também afetam a estabilidade do C orgânico, não sendo exclusividade da matéria orgânica do solo (Cambardella & Elliott, 1994; Zinn et al., 2005; Silva, 2015).

Os processos pedogenéticos específicos também apresentam influência direta sobre a qualidade e quantidade de C estocado no solo. Os solos que apresentam maior concentração da fração argila tendem a promover maior proteção da matéria orgânica do solo, dificultando o acesso dos microrganismos a matéria orgânica do solo (MOS). Os teores e o tipo de argila no solo têm influência direta na capacidade de troca catiônica (CTC), sendo este um dos principais fatores de proteção da MOS (Ferreira et al, 1999), por outro lado os solos e horizontes de textura arenosa, tem menores teores de C orgânico, maior macroporosidade, estes solos em relação aos de textura argilosa, aumenta a areação e a atividade dos microrganismos na dinâmica da MOS e conseqüentemente do C (Ferreira et al, 1999; Balesdent, 2000; Silva, 2015).

A temperatura do ambiente também afeta os níveis de estoque de carbono nos solos. Quando as temperaturas são elevadas nos sistemas as taxas de decomposição tendem a ser maiores, diminuindo a concentração de matéria orgânica no solo. O aumento da temperatura do solo pode ocorrer por diversos fatores, como o desmatamento que provoca mudanças no uso e cobertura do solo, manejo inadequado e diversas práticas de degradação do ecossistema (Jamtalia, 2006; Silva, 2015).

Solos que apresentam menor densidade, na maioria das vezes apresentam maior concentração no estoque de carbono nos solos. Nestes solos a estabilidade dos agregados é maior, bem como a sua condutividade hidráulica. Destacando que os solos que apresentam maior concentração de estoque de carbono, provisionam e regulam maior concentração de água no ecossistema (Post et al., 2000; Lal 2002).

Mudanças na cobertura vegetal pode promover redução no estoque de carbono, ações antrópicas sobre a conversão de florestas para pastagem promove redução significativa no estoque de carbono, esta redução pode ser compensada caso o manejo ocorra de forma adequada, onde o estoque de carbono poderá ser similar ou superior ao estoque de carbono nas florestas naturais, porém este conteúdo de carbono apresentará menor estabilidade (Fijisaka et al., 1998, Silva, 2015).

As hipóteses estão sobre: o SES de estoque de C que é um bem que promove a redução dos gases que aceleram as ações o efeito estufa, em especial o CO₂, e mitigam mudanças climáticas que são aceleradas em virtude da alta concentração destes gases na atmosfera (Fernandes, 2008); Melhorias na metodologia dos planos de segurança de água. Sendo o estoque de carbono essencial para a promoção, regulação e proteção da água nos sistemas ecológicos e no solo (Bortoluzzi et al., 2009; Raij, 1969).

O objetivo desta pesquisa foi quantificar os SES de estoques de C, promovendo melhoria na metodologia dos Planos de Segurança da Água, apoiados em bases sustentáveis, pois o solo é o principal estratificador ambiental (Pereira et al., 2018; Zhao e Wang, 2020), e o local onde a água é armazenada e regulada (Bortoluzzi et al., 2009; Raij, 1969).

3.2 Material e métodos

3.2.1 Áreas de estudo

Esta pesquisa foi realizada em 4 (quatro) municípios do Estado da Paraíba, localizadas nas mesorregiões da Zona da Mata e Agreste. As cidades foram: Alagoinha; Curral de Cima; Itapororoca e Riachão do Poço (**Figura. 12**). Que apresentam clima tropical com estações mais quentes no verão - As, a altitude corresponde a 158; 108; 83 e 85m, respectivamente, a precipitação pluvial varia entre 1059 a 1272,3mm, as temperaturas mínimas e máximas estão entre 23°C e 27°C (Alvares et al., 2013).

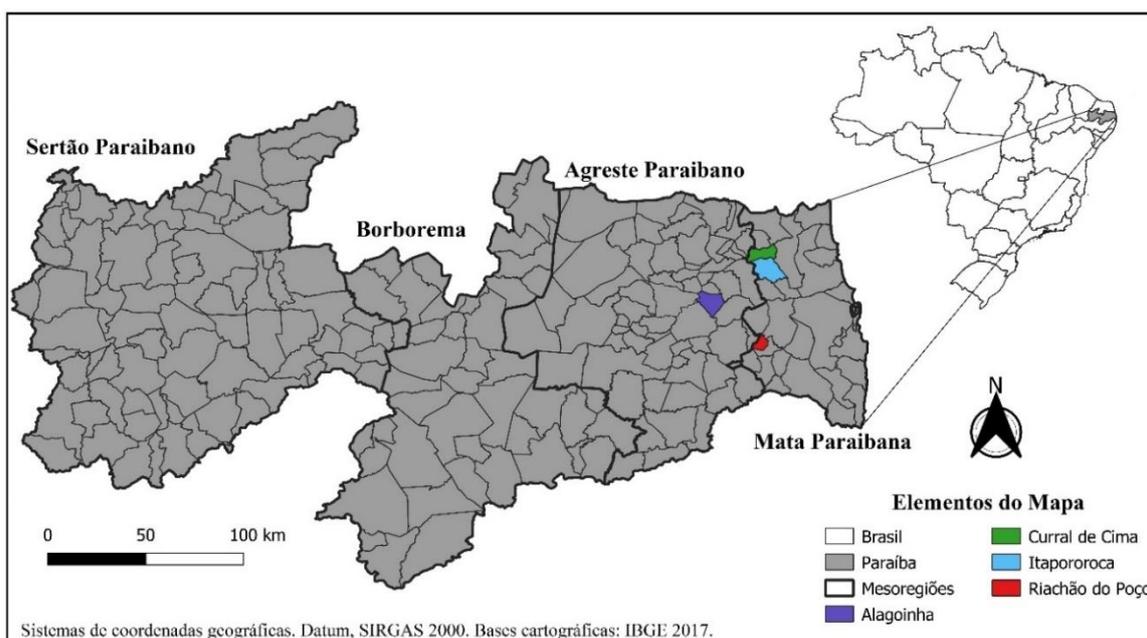


Figura. 12 – Mapa de localização geográfica dos municípios de Alagoinha, Curral de Cima, Itapororoca e Riachão do Poço.

3.2.2 Seleção das áreas de amostragem, descrição morfológica e classificação dos solos

A partir do mapa de solos da Paraíba em nível exploratório/reconhecimento como associações e inclusões de outras classes de solos (Medeiros, 2018) foi selecionado os pontos de coleta para descrição morfológica dos perfis de acordo com (Schoeneberg, 2012). A partir dos atributos morfológicos dos solos estes foram classificados até o segundo nível categórico no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018). As coletas foram realizadas tanto em florestas naturais como em ambientes agroflorestais. Para Alagoinha foram abertas 4 (quatro) perfis, todos na classe de solo Argissolo Vermelho Eutrófico; Em Curral de Cima foi aberta 7 (sete) perfis: (2) dois em Argissolo Vermelho Distrófico, (1) um em Luvissoilo Crômico Órtico e (4) quatro em Argissolo Vermelho Eutrófico; Em Itapororoca foram abertas 3 (três) perfis: (2) dois em Argissolo Vermelho Distrófico e (1) um em Plintossolo Pétrico Concrecionário e em Riachão do Poço foram abertos 3 (três) perfis: (2) dois em Argissolo Amarelo Distrófico e (1) um em Planossolo Háptico Eutrófico.

3.2.3 Amostragem dos solos

Foram coletadas amostras em triplicatas indeformadas dos horizontes para quantificação da densidade, e amostras deformadas dos horizontes e camadas fixas de 10 em 10 cm para determinação dos teores de carbono. As amostras de solo para determinação dos teores de carbono foram secas ao ar, destorroadas e peneirada em malha de 2mm. Após estes procedimentos foram realizadas as análises físicas EMBRAPA (Texeira et al., 2017).

3.3 Análises físicas

3.3.1 Densidades dos solos

As densidades foram estimadas pelos métodos do Torrão parafinado, Cilindro e Proveta EMBRAPA (Texeira et al., 2017). A densidade foi estimada para a realização do cálculo do estoque de carbono - EC.

A equação para calcular a densidade pelo método do Torrão parafinado foi a seguinte:

$$D_s = \frac{P_{tor}}{V_{tor}} \quad (1)$$

onde:

D_s = Densidade do solo, em Kg dm^{-3} (equivalente a g cm^{-3}).

P_{tor} = Massa do torrão seco a 105°C , Kg.

V_{tor} = Volume do torrão, em dm^{-3} .

A equação usada para calcular o valor da densidade pelo método do cilindro volumétrico foi a descrita abaixo:

$$D_s = \frac{m_a}{V} \quad (2)$$

D_s = Densidade do solo, em Kg dm^{-3} (equivalente a g cm^{-3}).

m_a = Massa da amostra de solo seco a 105°C até peso constante, em g.

V_{tor} = Volume do cilindro, em cm^{-3} .

A equação para calcular a densidade pelo método da proveta foi a seguintes:

$$D_s = \frac{m \cdot f}{V} \quad (3)$$

D_s = Densidade do solo, em Kg dm^{-3} (equivalente a g cm^{-3}).

m = Massa da amostra de solo (TFSA), em g.

V = Volume do solo na proveta, em cm^{-3} .

f = fator de correção de umidade da amostra, calculada pela equação (3.1)

$f = \frac{a}{b}$, onde: a = massa da amostra seca ao ar, em g, e b = massa da amostra seca a 105°C até atingir peso constante, em g.

Foram usados três métodos pelo motivo de que existiu localidades que não foi possível realizar a coleta do torrão e ou por meio do cilindro, sendo usado o método da proveta.

3.3.2 Granulometria

Para a quantificação da concentração de terra fina seca ao ar, cascalho e calhaus foi utilizada o método de preparo de amostras, EMBRAPA (Texeira et al., 2017).

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, EMBRAPA (Texeira et al., 2017).

3.4 Análise química

3.4.1 Matéria orgânica e carbono orgânica

A matéria orgânica foi determinada pelo método de quantificação da MO por via seca em mufla por incineração EMBRAPA (Texeira et al., 2017), e os valores de carbono orgânico foram calculados pela equação abaixo (Pribyl, 2010).

$$CO = \frac{MO}{1,95} \quad (4)$$

Onde:

CO = Carbono orgânico

MO = Matéria orgânica

1,95 = Valor do fator correção, para conversão da matéria orgânica em carbono orgânico.

3.4.2 Estoque de carbono

Os estoques de carbono foram calculados para os horizontes e camadas fixas de cada perfil, com base na equação (Veldkamp, 1994; Cardoso et al., 2010)

$$EC = \frac{COT \times Ds \times e}{10} \quad (5)$$

Onde:

EC = estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg ha⁻¹).

COT = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g kg⁻¹).

Ds = densidade do solo da profundidade (kg dm⁻³).

e = espessura da camada considerada (cm).

3.5 Resultados

3.5.1 Atributos físicos e carbono orgânico total do solo

A análise granulométrica dos perfis correspondentes a cidade de Alagoinha para o perfis AL1 – Neossolo Litólico as frações grossas (>2mm) variou entre 118 a 230 g kg⁻¹ os teores de areia grossa e fina variaram entre 536 a 674- g kg⁻¹ e 121 a 139- g kg⁻¹ respectivamente, ou teores de silte e Argila variam entre 56 a 205 g kg⁻¹ e 45 a 121 g kg⁻¹; No AL2 - Neossolo Litólico o cascalho variou entre 55 a 200 g kg⁻¹, os teores de areia grossa e fina variaram entre 234 a 328- g kg⁻¹ e 253 a 510- g kg⁻¹ respectivamente, ou teores de silte e Argila variam entre 58 a 185 g kg⁻¹ e 71 a 268 g kg⁻¹; No AL3 – Cambissolo Háplico o cascalho variou entre 90 a 182 g kg⁻¹, os teores de areia grossa e fina variaram entre 493 a 622- g kg⁻¹ e 186 a 200- g kg⁻¹ respectivamente, ou teores de silte e Argila variam entre 92 a 170 g kg⁻¹ e 92 a 156 g kg⁻¹ e no AL4 – Luvisolo Crômico o cascalho variou ente 68 a 165 g kg⁻¹, os teores de areia grossa e fina variaram entre 308 a 484- g kg⁻¹ e 145 a 212- g kg⁻¹ respectivamente, os teores de silte e Argila variam entre 128 a 248 g kg⁻¹ e 145 a 420 g kg⁻¹, dados presentes na (**Tabela. 7**).

A densidade do solo foi menor os horizontes superficiais em todos os perfis, aumentando nos horizontes diagnósticos subsuperficiais. A densidade analisada em todos os perfis apresenta valores entre 1,39 a 2,7 g cm⁻³ (**Tabela. 7**).

Os teores de carbono orgânico dentre todos os perfis apresentaram variação entre 4 a 31 g kg⁻¹ as concentrações são maiores nos horizontes superficiais (**Tabela. 7**).

Tabela. 7 - Atributos e carbono orgânico do solo em perfis de solos localizados em Alagoinha-PB.

Hor.	Prof.	Casc.	AG	AF	Silte	Argila	Ds	TCO
	cm							
AL01 -Neossolo Litólico								
A	0-20	222	536	139	205	121	1,60	29
Cr	20-70	118	674	121	177	29	2,30	4
R/C	70-180 ⁺	230	763	137	56	45	2,30	6
AL02 – Neossolo Litólico								
A	0-20	55	328	352	262	58	1,40	31
Cr	20-60	154	510	234	185	71	2,60	12
R/C	60-130 ⁺	200	420	253	268	61	2,40	24
AL03 – Cambissolo Háplico								
A	0-25	164	505	186	170	139	1,39	23
AB	25-55	90	493	190	163	156	2,00	15,6
Bi	55-75	103	541	200	140	123	1,90	9,8
C/R	75-130	112	622	194	92	92	2,00	9,9
R/C	130-180 ⁺	182	574	191	137	100	2,00	11
AL04 – Luvisolo Crômico								
A	0-25	68	377	212	248	164	1,43	25
AB	25-70	156	484	192	180	145	1,56	15
BA	70-100	155	415	188	188	211	1,86	17
Bt	100-170 ⁺	103	308	145	128	420	1,69	25,5

Casc.: cascalho (20-2 mm); AG: areia grossa (0,5-1 mm); AF: areia fina (0,1-0,25 mm); silte (0,05-0,002); Argila (<0,002); Ds: densidade do solo; TCO: teor de carbono

A análise granulométrica dos perfis correspondentes a cidade de Curral de Cima para os perfis AL1 – Argissolo Vermelho a fração cascalho variou entre 24 a 53 g kg⁻¹ os teores de areia grossa e fina variaram entre 142 a 199- g kg⁻¹ e 496 a 641- g kg⁻¹ respectivamente, os teores de silte e Argila variam entre 36 a 77 g kg⁻¹ e 122 a 260 g kg⁻¹; No AL Bambú – Argissolo Vermelho o cascalho variou entre 59 a 169 g kg⁻¹, os teores de areia grossa e fina variaram entre 180 a 232- g kg⁻¹ e 462 a 601- g kg⁻¹ respectivamente, os teores de silte e Argila variam entre 50 a 78 g kg⁻¹ e 123 a 285 g kg⁻¹; No PC – Gleissolo Háplico o cascalho variou entre 1 a 13 g kg⁻¹, os teores de areia grossa e fina variaram entre 4 a 78- g kg⁻¹ e 31 a 124- g kg⁻¹ respectivamente, ou teores de silte e Argila variam entre 516 a 679 g kg⁻¹ e 174 a 451 g kg⁻¹; No P. Bibiu – Gleissolo Háplico o cascalho variou entre 6 a 16 g kg⁻¹, os teores de areia grossa e fina variaram entre 109 a 149- g kg⁻¹ e 631 a 694- g kg⁻¹ respectivamente, ou teores de silte e Argila variam entre 110 a 166 g kg⁻¹ e 43 a 97 g kg⁻¹; No BB1 – Argissolo Vermelho o cascalho variou entre 14 a 65 g kg⁻¹, os teores de areia grossa e fina variaram entre 45 a 74- g kg⁻¹ e 237 a 684- g kg⁻¹ respectivamente, ou teores de silte e Argila variam entre 179 a 232 g kg⁻¹ e 111 a

485 g kg⁻¹; No BB2 – Plintossolo Háptico o cascalho variou entre 23 a 368 g kg⁻¹, os teores de areia grossa e fina variaram entre 127 a 165- g kg⁻¹ e 356 a 465- g kg⁻¹ respectivamente, ou teores de silte e Argila variam entre 209 a 235 g kg⁻¹ e 162 a 288 g kg⁻¹ e no BB3 – Neossolo Quartzarênico o cascalho variou entre 11 a 161 g kg⁻¹, os teores de areia grossa e fina variaram entre 281 a 298- g kg⁻¹ e 397 a 495- g kg⁻¹ respectivamente, ou teores de silte e Argila variam entre 135 a 258 g kg⁻¹ e 35 a 102 g kg⁻¹, dados presentes na (**Tabela. 8**).

A densidade dos solos foi menor os horizontes mais superficiais em todos os perfis, aumentando nos horizontes diagnósticos subsuperficiais, os valores nos perfis variaram entre 0,80 a 2,1 g cm⁻³ (**Tabela. 8**).

Os teores de carbono orgânico dentre todos os perfis apresentaram variação entre 0,4 a 7 g kg⁻¹, as concentrações são maiores nos horizontes superficiais (**Tabela. 8**).

Tabela. 8 - Atributos físicos e carbono orgânico do solo em perfis de solos localizados em Curral de Cima - PB.

Hor.	Prof.	Casc.	AG	AF	Silte	Argila	Ds	TCO
	cm		g kg ⁻¹				g cm ⁻³	g kg ⁻¹
AL1 – Argissolo Vermelho								
A1	0-10	24	161	641	77	122	0,94	3,9
A2	10-35	65	142	568	55	165	1,70	2,9
AB	35-70	31	173	511	59	259	1,38	3
BA	70-90	37	196	496	49	260	1,46	3
Bt1	90-170	52	193	537	36	235	1,60	3
Bt2	170-200	53	199	536	38	229	1,40	3
AL Bambú – Argissolo Vermelho								
A	0-25	59	192	601	78	130	1,11	3,9
AB	25-40	89	207	585	75	134	1,35	2
BA	40-52	282	232	596	50	123	1,44	1,7
Bt	52-75 ⁺	169	180	462	74	285	1,15	3
PC -Gleissolo Háplico								
A	0-10	13	24	124	679	174	0,80	7
Cg1	10-30	6	78	257	529	187	1,46	3
Cg2	30-60	5	5	35	537	423	1,65	3
Cg3	60-75 ⁺	1	4	31	516	451	1,07	4
P. BIBIU – Gleissolo Háplico								
A	0-10	16	149	631	166	55	1,04	2
AB	10-30	13	144	693	120	43	1,70	1,3
Big	30-50	5	109	636	159	97	1,70	1,7
Cg	50-65 ⁺	6	120	694	110	77	1,17	1
BB1 – Argissolo Vermelho								
A1	0-30	14	71	684	123	121	1,35	3,6
A2	30-55	18	62	592	222	125	1,50	2,5
AB	55-80	45	62	596	232	111	1,40	1,5
2Bt	80-140	53	74	281	179	468	1,80	4,5
2Cr	140-200 ⁺	65	45	237	204	485	1,87	5,5
BB2 – Plintossolo Háplico								
A	0-25	43	165	465	209	162	1,30	6,4
AB	25-45	368	127	391	235	249	1,30	2,6
Btf	45-80	23	134	356	223	288	1,40	3
R	80-90 ⁺	*	*	*	*	*	*	*
BB3 – Neossolo Quartzarênico								
A	0-30	16	281	397	258	63	1,24	2
AC	30-60	15	288	461	165	92	1,46	1,6
C1	60-85	11	298	466	135	102	1,80	0,8

C2	85-150	22	297	495	173	35	1,90	0,4
C3	150-200 ⁺	161	294	426	206	76	2,10	1,6

Casc.: cascalho (20-2 mm); AG: areia grossa (0,5-1 mm); AF: areia fina (0,1-0,25 mm); silte (0,05-0,002); Argila (<0,002); Ds: densidade do solo; TCO: teor de carbono.

A análise granulométrica dos perfis correspondentes a cidade de Itapororoca para o perfil Ita 1 – Cambissolo Háplico a fração cascalho variou entre 28 a 445 g kg⁻¹ os teores de areia grossa e fina variaram entre 179 a 229- g kg⁻¹ e 206 a 262- g kg⁻¹ respectivamente, os teores de silte e Argila variam entre 233 a 317 g kg⁻¹ e 239 a 339 g kg⁻¹; No Ita 2 – Cambissolo Háplico o cascalho variou entre 13 a 348 g kg⁻¹, os teores de areia grossa e fina variaram entre 174 a 264- g kg⁻¹ e 220 a 253- g kg⁻¹ respectivamente, os teores de silte e Argila variam entre 231 a 365 g kg⁻¹ e 168 a 376 g kg⁻¹ e no perfil Ita 3 – Argissolo Vermelho-Amarelo o cascalho variou entre 11 a 120 g kg⁻¹, os teores de areia grossa e fina variaram entre 213 a 266- g kg⁻¹ e 250 a 415- g kg⁻¹ respectivamente, ou teores de silte e Argila variam entre 108 a 132 g kg⁻¹ e 231 a 429 g kg⁻¹. Os teores de silte e argila foram bem superiores as demais frações, em todos os horizontes subsuperficiais. (**Tabela. 9**).

A densidade dos solos foi menor os horizontes superficiais em todos os perfis, aumentando nos horizontes diagnósticos subsuperficiais, apresentando valores entre 0,8 a 1,8 g cm⁻³ (**Tabela. 9**).

Os teores de carbono orgânico dentre todos os perfis apresentaram variação entre 4 a 12 g kg⁻¹ as concentrações são maiores nos horizontes superficiais (**Tabela. 9**).

Tabela. 9 - Atributos físicos e carbono orgânico do solo em perfis de solos localizados em Itapororoca-PB.

Hor.	Prof.	Casc.	AG	AF	Silte	Argila	Ds	TCO
	cm	----- g kg ⁻¹ -----				g cm ⁻³		gkg ⁻¹
Ita 1 – Cambissolo Háplico								
A	0-30	31	229	216	317	239	0,80	7
BA	30-60	28	201	238	283	279	1,22	5
Bi1	60-90	50	204	252	249	296	1,17	4
Bi2	90-120	96	200	262	239	300	1,3	4
C/R	120-170	162	196	232	233	339	1,42	5
Cr	170 ⁺	445	179	206	298	319	1,78	5
Ita 2 - Cambissolo Háplico								
A1	0-20	13	242	225	365	169	0,80	12
A2	20-38	62	179	230	364	228	1,04	8
Bi	38-70	167	264	253	314	168	1,15	6,4
Cr	70-170 ⁺	348	174	220	231	376	1,60	6
Ita 3 – Argissolo Vermelho-Amarelo								
A	0-15	11	222	415	132	231	1,28	5
Bt	15-90	37	213	250	108	429	1,76	5,8
C	90-160 ⁺	120	266	287	117	332	1,80	4,4

Casc.: cascalho (20-2 mm); AG: areia grossa (0,5-1 mm); AF: areia fina (0,1-0,25 mm); silte (0,05-0,002); Argila (<0,002); Ds: densidade do solo; TCO: teor de carbono.

A análise granulométrica dos perfis correspondentes a cidade de Riachão do Poço para o perfil RPRL1 – Luvisolo Crômico a fração cascalho variou entre 31 a 220 g kg⁻¹ os teores de areia grossa e fina variaram entre 276 a 480- g kg⁻¹ e 90 a 265- g kg⁻¹ respectivamente, os teores de silte e argila variam entre 54 a 173 g kg⁻¹ e 134 a 555 g kg⁻¹; No RP2 – Neossolo Regolítico o cascalho variou entre 24 a 39 g kg⁻¹, os teores de areia grossa e fina variaram entre 443 a 655- g kg⁻¹ e 221 a 325- g kg⁻¹ respectivamente, os teores de silte e Argila variam entre 33 a 44 g kg⁻¹ e 49 a 299 g kg⁻¹ e no perfil RP3 – Argissolo Vermelho-Amarelo o cascalho variou entre 35 a 45 g kg⁻¹, os teores de areia grossa e fina variaram entre 386 a 510- g kg⁻¹ e 188 a 250- g kg⁻¹ respectivamente, ou teores de silte e argila variam entre 51 a 63 g kg⁻¹ e 177 a 377 g kg⁻¹ (**Tabela. 10**).

A densidade do solo foi menor os horizontes superficiais em todos os perfis, aumentando nos horizontes diagnósticos subsuperficiais, apresentando valores entre 1,04 a 2,2 g cm⁻³. (**Tabela 10**)

Os teores de carbono orgânico dentre todos os perfis apresentaram variação entre 4,9 a 33 g kg⁻¹ as concentrações são maiores nos horizontes superficiais (**Tabela 10**).

Tabela. 10 - Atributos físicos e carbono orgânico do solo em perfis de solos localizados em Riachão do Poço-PB

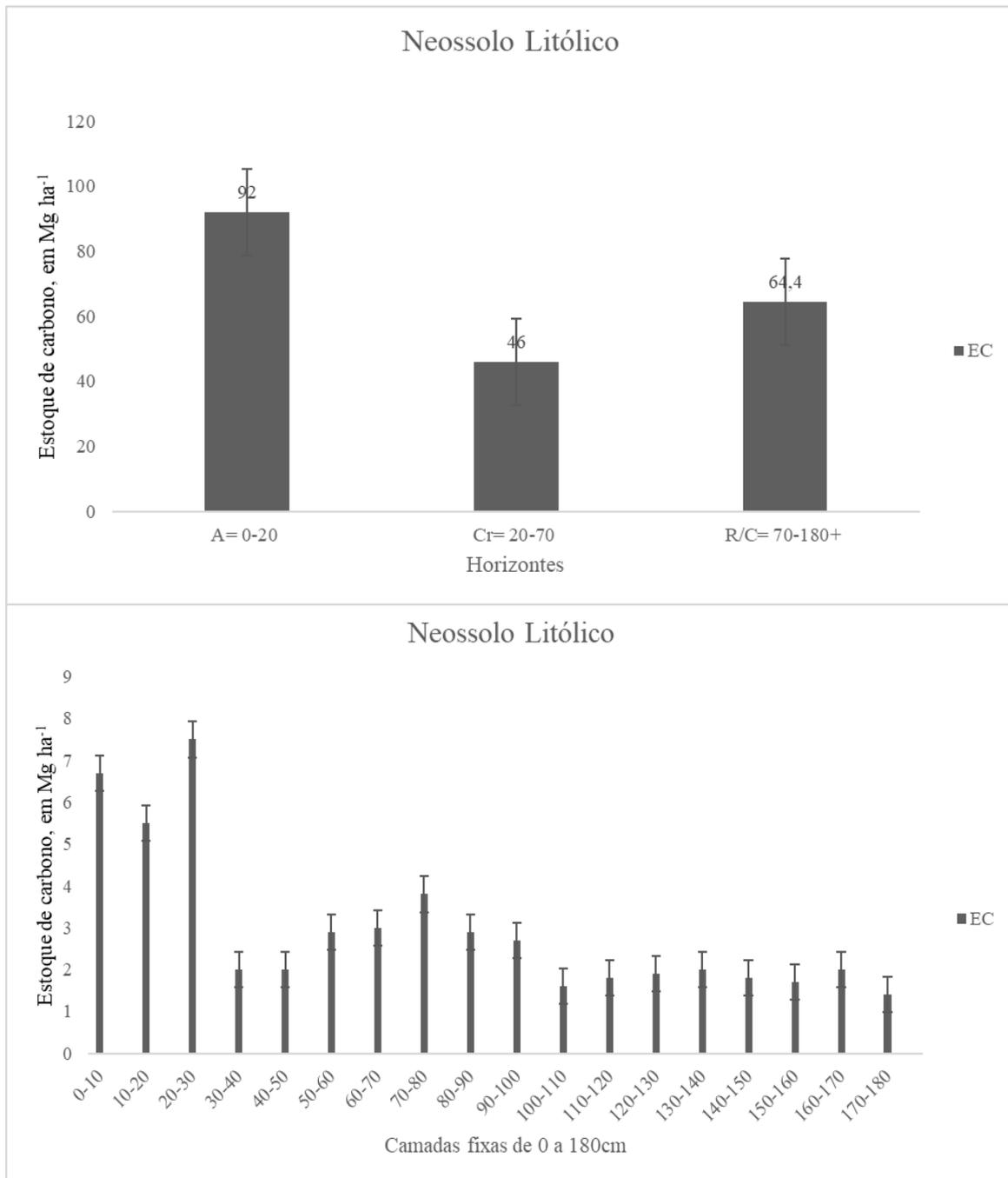
Hor.	Prof.	Casc.	AG	AF	Silte	Argila	Ds	TCO
	cm							
PRRL1 - Luvissole Crômico								
A1	0-8	213	431	265	170	134	1,04	31
A2	8-25	220	480	263	112	146	1,70	10
Bt	25-36	151	301	90	54	555	1,90	33
Cr	36-48	31	276	135	173	417	2,20	22
RP 2 - Neossolo Regolítico								
A1	0-10	28	631	278	43	49	1,70	5,6
A2	10-34	34	615	289	37	61	1,80	5
C1	34-90	37	655	249	33	64	1,70	4
C2	90-128	37	542	325	44	90	1,70	5,5
2C1	128-170	39	559	318	35	88	1,96	4,9
2C2	170-180	24	443	221	37	299	1,85	15
RP 3 – Argissolo Vermelho Amarelo								
A	0-24	35	510	250	63	177	1,7	13
BA	24-56	38	459	227	62	254	1,50	8,8
Bt1	56-78	41	407	200	60	335	1,40	17
Bt2	78-96	39	390	198	52	361	1,60	18
Bt3	96-160	45	386	188	51	377	1,55	18

Casc.: cascalho (20-2 mm); AG: areia grossa (0,5-1 mm); AF: areia fina (0,1-0,25 mm); silte (0,05-0,002); Argila (<0,002); Ds: densidade do solo; TCO: teor de carbono.

3.6 Estoque de carbono

3.6.1 Estoque de carbono do solo em Alagoinha

Os estoques de carbono presentes nos solos identificados como: Neossolo Litólico; Neossolo Litólico; Cambissolo Háplico e Luvissole Crômico estão apresentados nas figuras abaixo que demonstra a concentração de carbono estocado nos horizontes pedogenéticos e em camadas fixas 10/10cm nas (**Figuras: 13; 14; 15 e 16**).



Figuras 13 - Estoque de carbono no perfil Neossolo Litólico.

No perfil Neossolo Litólico com dimensão de 180⁺, o estoque de carbono analisado nas camadas fixas foi maior nos primeiros 30cm do perfil (**Figura. 13**), comprovando que o horizonte A apresentou maior concentração de EC. Comparando o perfil pedogenético as camadas fixas, ficou comprovado que o primeiro horizonte do solo apresentou maior concentração de estoque de carbono, fortalecendo a afirmação de que os horizontes

pedogenéticos fornecem as informações fidedignas das características morfológicas; física e químicas do solo, sendo a avaliação das camadas fixas uma forma de comprovação de dados.

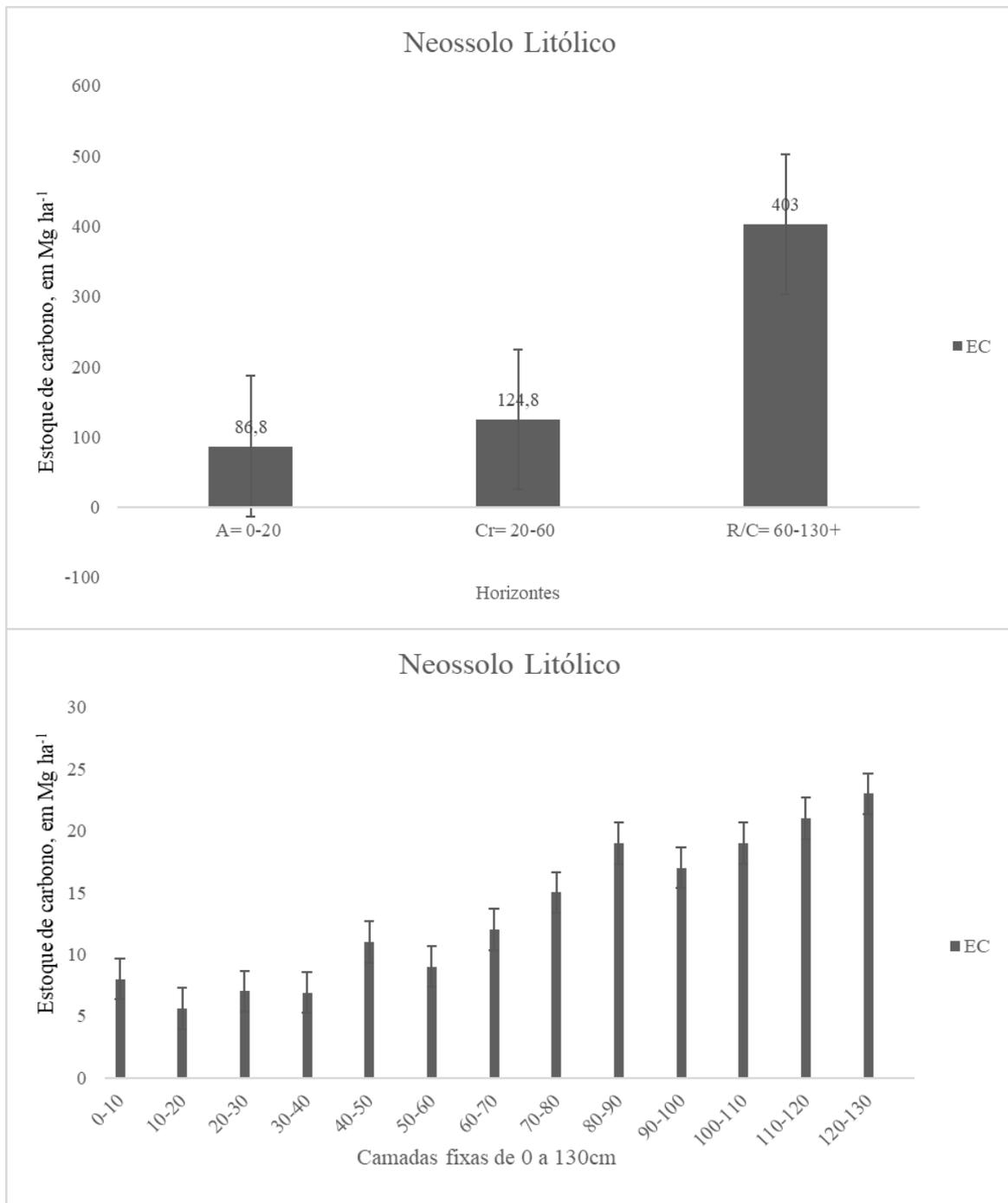
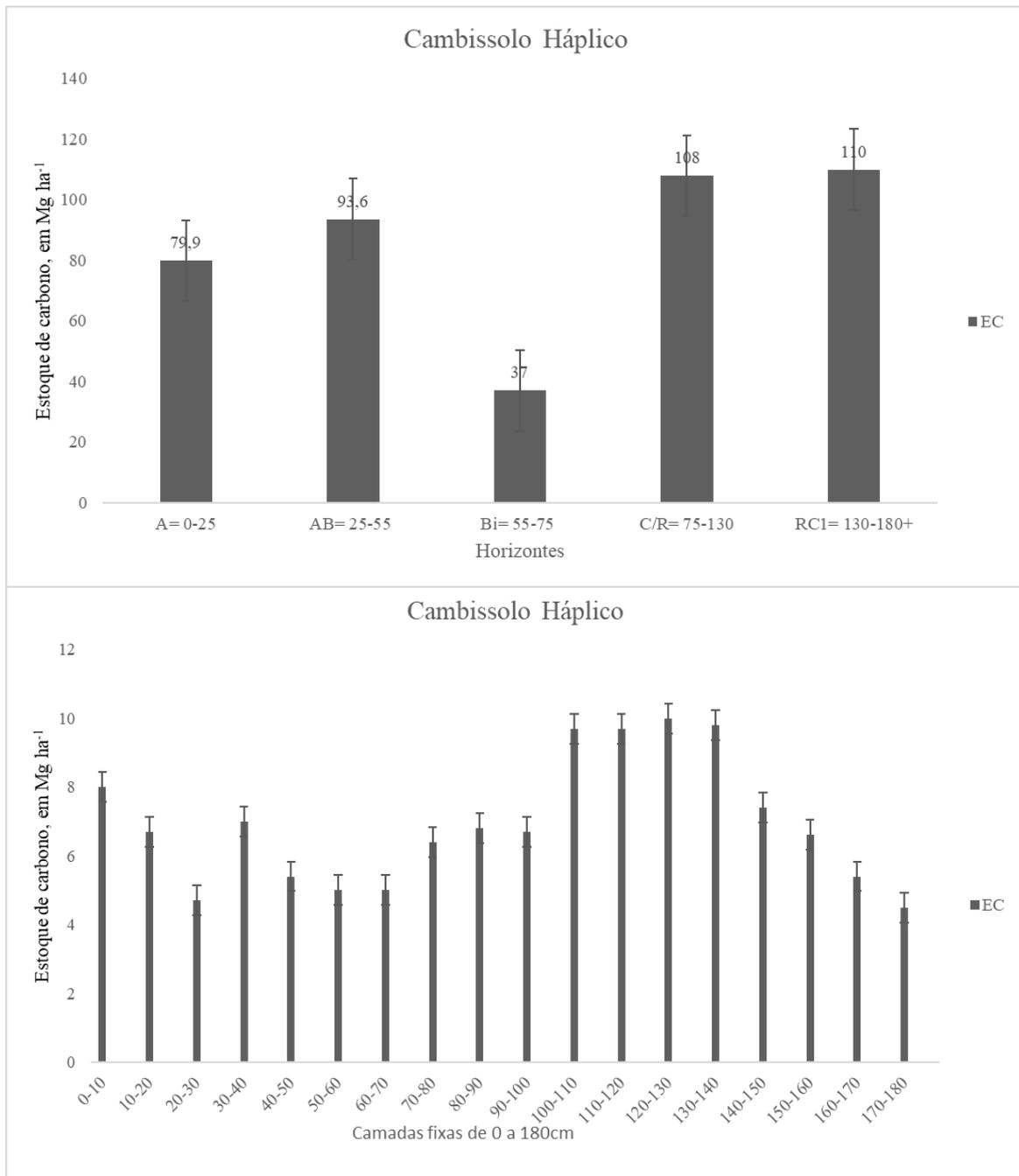


Figura. 14 - Estoque de carbono no perfil Neossolo Litólico.

O perfil pedogenético Neossolo Litólico tem dimensão de 130⁺ centímetros, dividido em 3 (três) horizontes e 13 (treze) camadas fixas de 10cm (**figuras. 14**). No referido perfil o estoque de carbono apresentou um aumento progressivo do horizonte A para o horizonte R/C,

isto aconteça provavelmente em virtude da extensão dos horizontes que são maiores em Cr e C/R.

Analisando as camadas fixa, observamos o aumento progressivo do estoque de carbono ao longo da extensão do perfil da parte inicial para a dimensão final, fortalecendo a leitura de estoque de carbono dos horizontes pedogenéticos.



Figuras 15 - Estoque de carbono no perfil Cambissolo Háplico.

O perfil pedogenético Cambissolo Háplico tem dimensão de 180⁺ centímetros, dividido em 5 (cinco) horizontes pedogenéticos e 18 (dezoito) camadas fixas de 10cm (**Figuras. 15**). O estoque de carbono apresenta um aumento progressivo dos horizontes A ao horizonte AB, apresentando diminuição no horizonte Bi e aumento no horizonte C/R e RC, isso ocorre em virtude da dimensão do que é bem maior nestes horizontes.

Analisando as camadas fixas do perfil, verificamos que ocorre a incidência de maiores concentrações de EC entres as camadas de 0 a 40 cm e de 100 a 140 cm, e menores concentrações entre 50 a 70cm, comprovando a variação que ocorre no perfil.

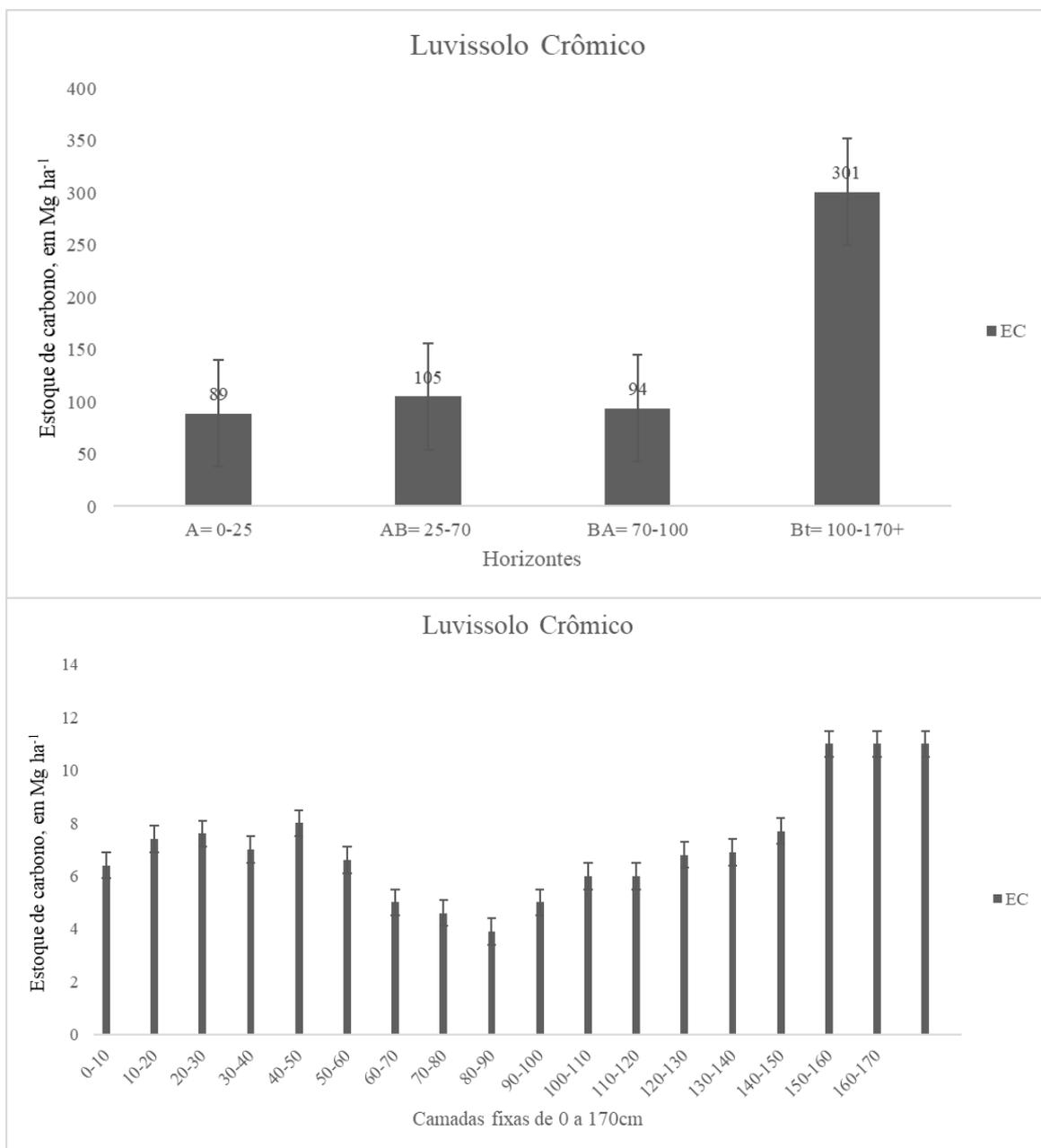


Figura. 16 – Estoque de carbono no perfil Luvisolo Crômico.

O perfil pedogenético Luvissole Crômico tem dimensão de 170⁺ centímetros, dividido em 4 (quatro) horizontes pedogenéticos e 17 (dezesete) camadas fixas de 10cm (**figuras. 16**). O estudo do estoque de carbono apresentou valores próximo nos horizontes A, AB e BA e EC alto no horizonte Bt em virtude de sua extensão que é de 70 cm.

Analisando as camadas fixas verificamos que nas camadas de 60 a 90 cm houve uma diminuição nos estoques de carbono e aumento significativo nas camadas seguintes, fortalecendo o verificado que o horizonte Bt com maior EC.

O estudo dos solos do município de Alagoinha comprova que o município apresenta elevado potencial ambiental e econômicos como base na análise quantitativa do serviço ecossistêmico de estoque de carbono, onde verificamos que os solos estudados deste município drenam quantidades significativas de CO₂ atmosférico, podendo este serviço ser valorado, para a aquisição de créditos de carbono através de projetos voluntários.

Como estes solos apresentaram quantidade significativa de matéria orgânica, eles são potenciais para a retenção e regulação de água no sistema. Em virtude desta concentração o solo pode apresenta maior capacidade de troca de cátions, dificultam a evaporação da água e promovendo sua maior concentração no sistema.

3.6.2 Estoque de carbono do solo em Curral de Cima

Os perfis para quantificar os estoques de carbono para a cidade de Curral de Cima tiveram as seguintes identificações: Argissolo Vermelho; Argissolo Vermelho; Gleissolo Háplico; Gleissolo Háplico; Argissolo Vermelho; Plintossolo Háplico e Neossolo Quartzarênico representados nos gráficos abaixo, demonstrando a concentração de carbono estocado nos horizontes pedogenéticos e em camadas fixas 10/10cm. (**Figuras: 17; 18; 19; 20; 21; 22 e 23**). Para esta cidade, a amostragem em camadas fixas só foi realizada para os perfis AL1- Argissolo Vermelho e BB1- Argissolo Vermelho, devido à dificuldade de coleta nos demais perfis. Todavia podemos entender que os horizontes pedogenéticos representaram muito bem a estocagem de carbono no ambiente.

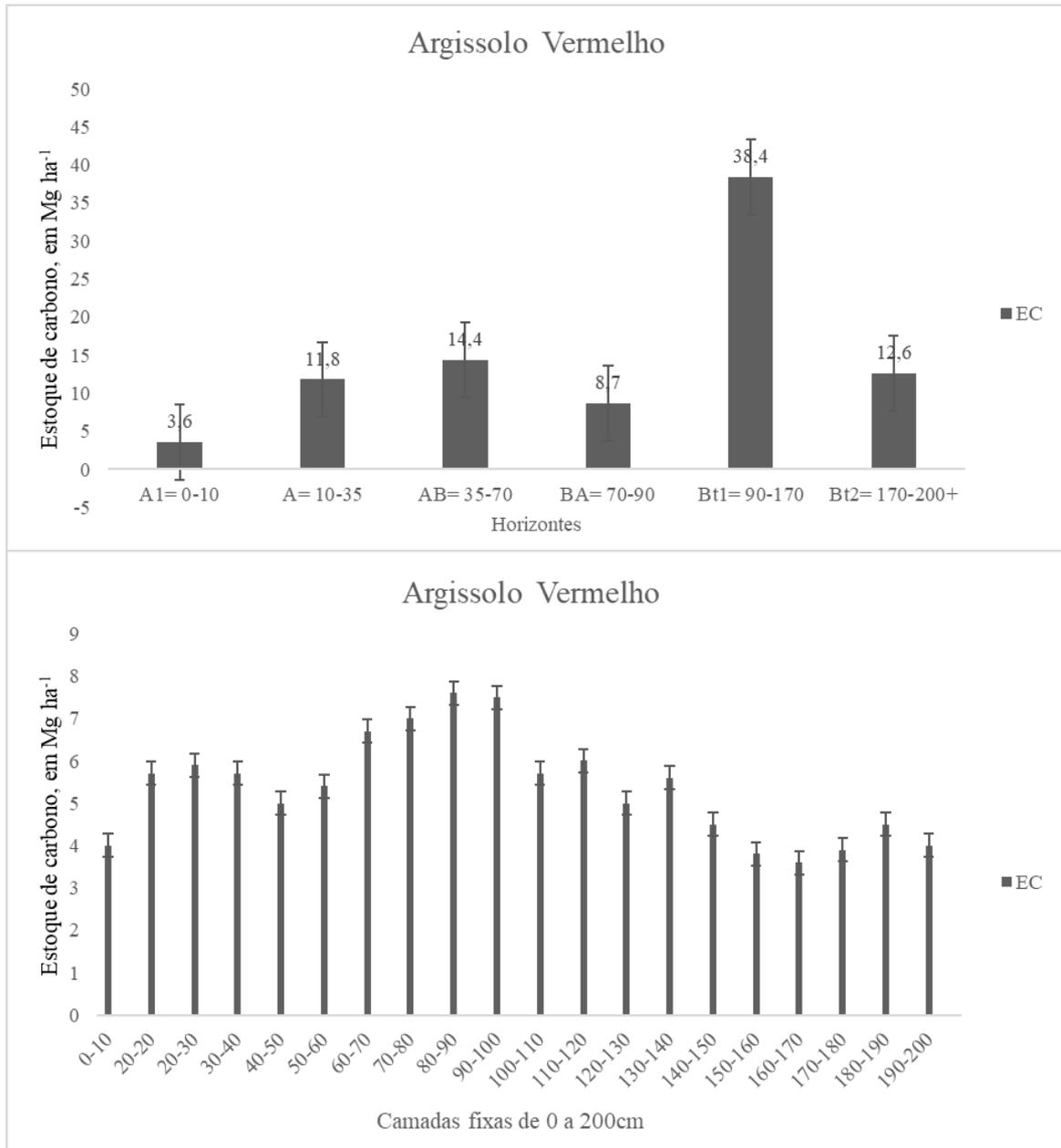


Figura. 17 – Estoque de carbono no perfil Argissolo Vermelho.

O EC no perfil Argissolo Vermelho com dimensão de 200 centímetros, dividido em 6 (seis) horizontes pedogenéticos e 20 camadas fixas de 10cm (**Figuras. 17**), aumentou do A ao AB tendo aumento progressivo, tendo diminuição no BA e elevação no Bt1 em virtude de sua extensão onde foi apresentado a maior concentração de EC, no valor de 38,4 Mg ha⁻¹ e diminuição no Bt2.

Com a observação das camadas fixas observamos que os maiores EC ocorre entre as camadas de 70 a 10 centímetros.

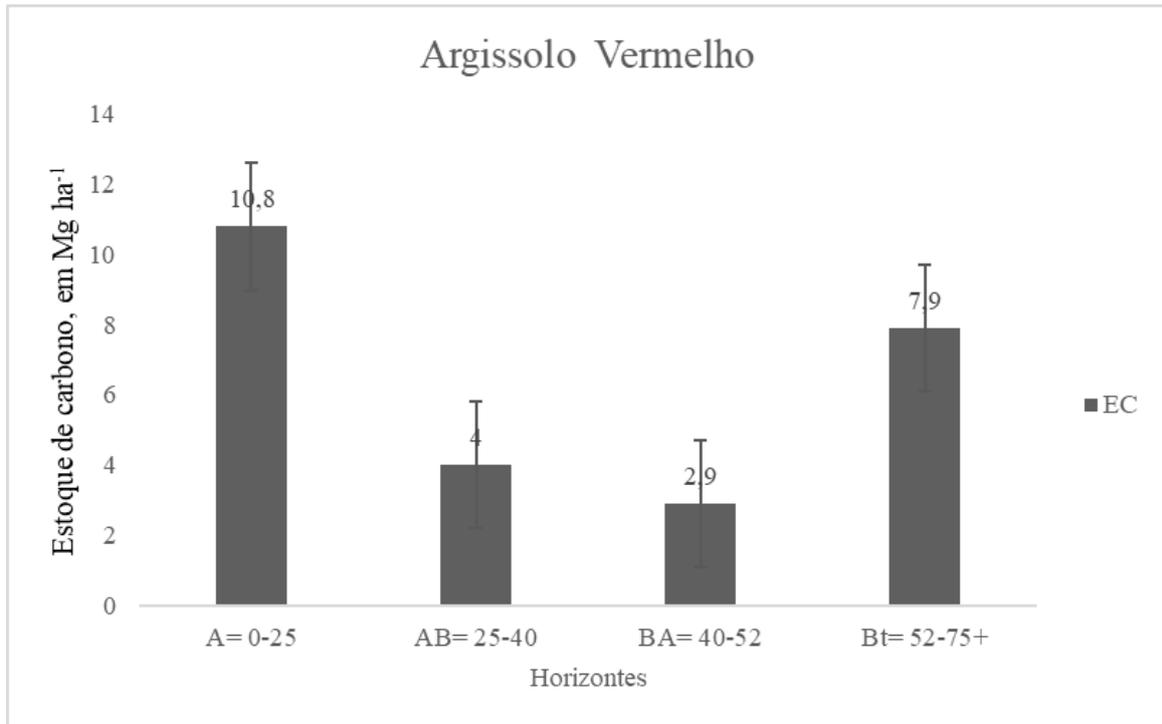


Figura. 18 – Estoque de carbono no perfil Argissolo Vermelho.

O perfil pedogenético Argissolo Vermelho apresenta 4 (quatro) horizontes pedogenéticos e dimensão de 75 centímetros (**figura. 18**), sendo observado que neste perfil os maiores EC estão nos horizontes A, Bt e AB respectivamente e menor EC no horizonte BA. A variação de EC é entre 2,9 e 10,8 Mg ha⁻¹.

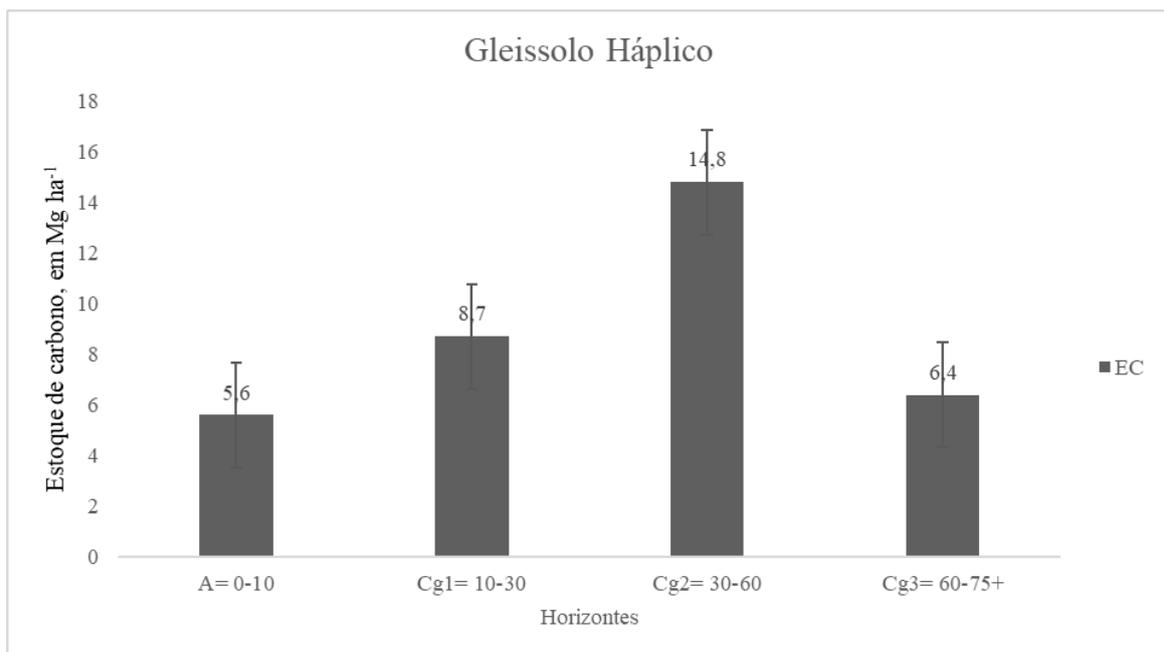


Figura. 19 – Estoque de carbono no perfil Gleissolo Háplico.

O perfil Gleissolo Háplico tem 4 (quatro) horizontes e dimensão de 75 centímetros (**figura. 19**), apresentando estoque de carbono com crescimento progressivo do horizonte A ao horizonte Cg2 e tendo diminuição no horizonte Cg3. A variação de EC está entre 5,6 a 14,8 Mg ha⁻¹.

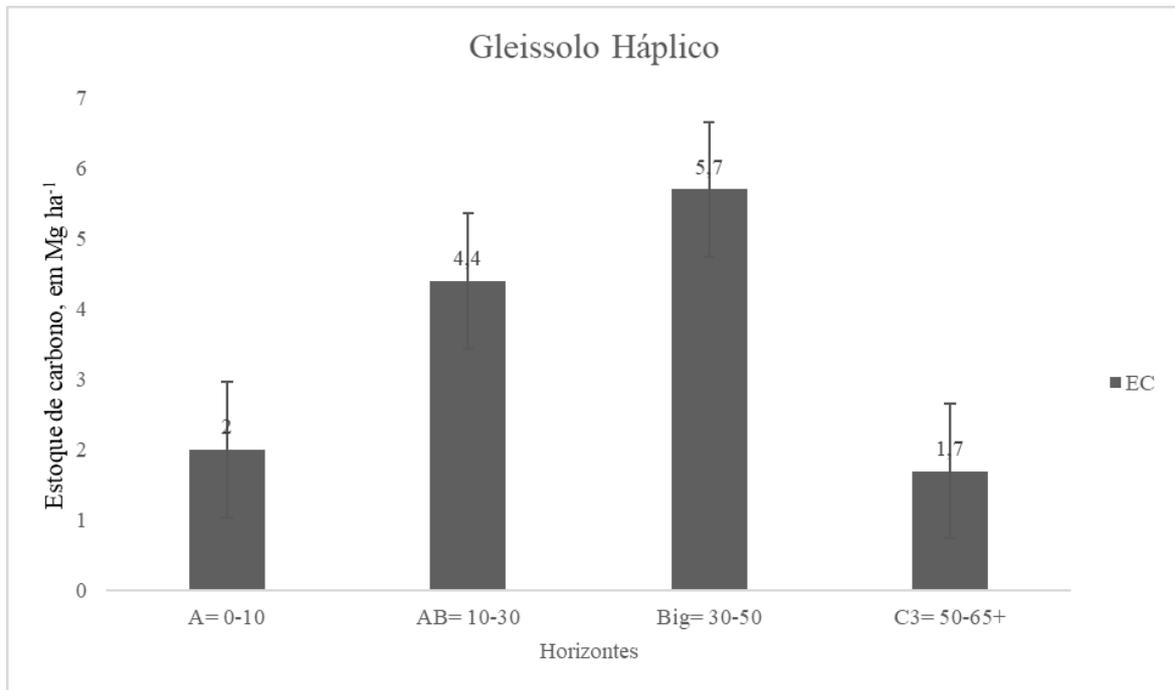


Figura. 20 – Estoque de carbono no perfil Gleissolo Háplico.

O perfil Gleissolo Háplico apresenta 4 (quatro) horizontes e dimensão de 65cm (**figura. 20**), os maiores EC estão nos horizontes Big e AB e menores concentrações nos horizontes A e C3 com o valor de 1,7 e 2 Mg ha⁻¹ respectivamente. O EC no perfil variou entre 1,7 a 5,7 Mg há⁻¹.

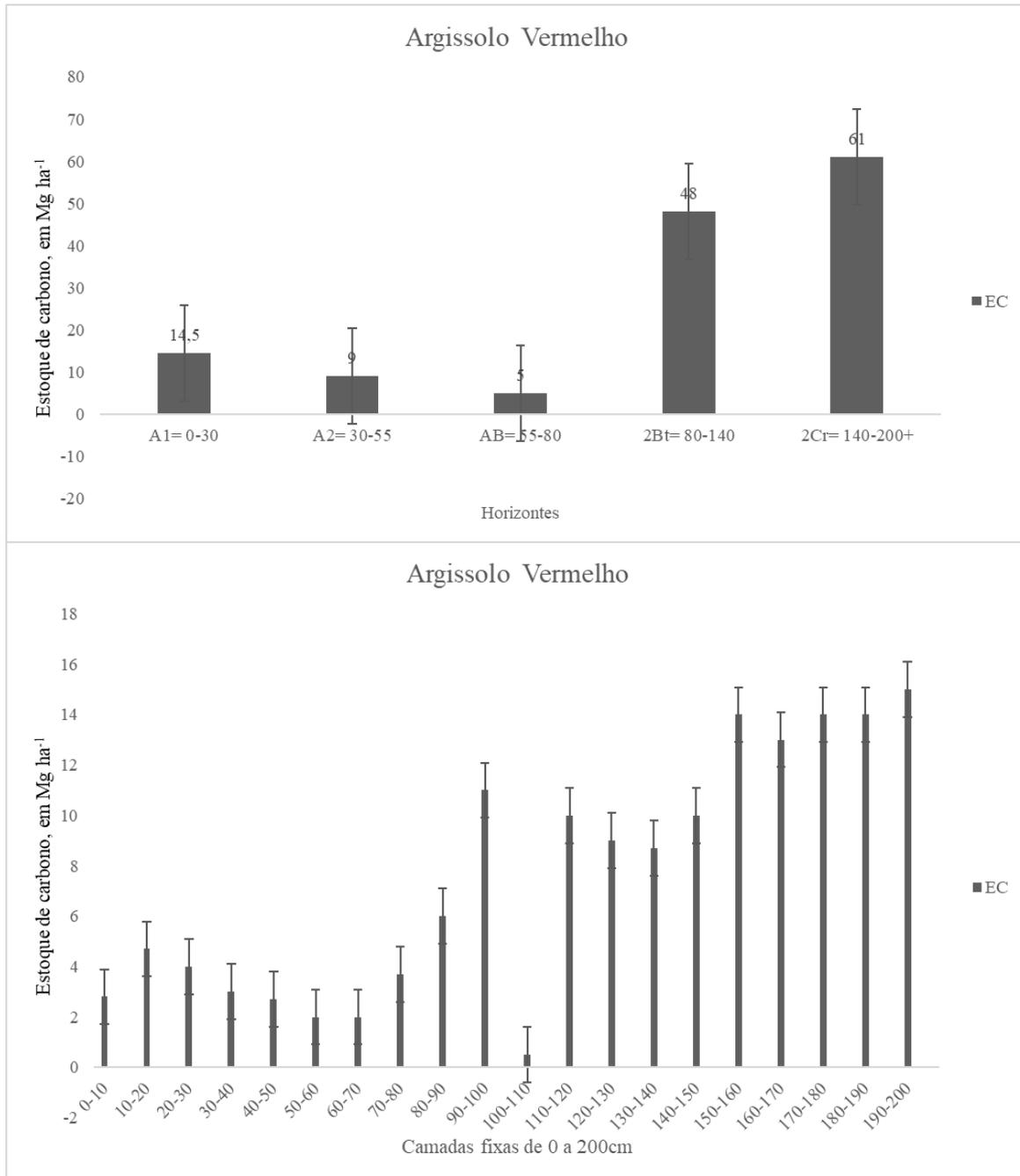


Figura. 21 – Estoque de carbono no perfil Argissolo Vermelho.

O perfil pedogenético Argissolo Vermelho tem dimensão de 200cm dividido em 5 (cinco) horizontes pedogenéticos e 20 (vinte) camadas fixas de 10cm (**figuras. 21**), apresentando elevada concentração de estoque de carbono, tendo variação quantitativa entre 5 a 61 Mg ha⁻¹, do horizonte A1 ao AB o perfil apresentou EC entre 5 a 14,5 Mg ha⁻¹, tendo suas maiores concentrações nos horizontes mais subsuperficiais com valores de 48 e 61 Mg ha⁻¹ para os horizontes 2Bt e 2Cr respectivamente.

A análise das camadas fixas é fortalecida as observações sobre o EC nos horizontes pedogenéticos, sendo-os maiores das camadas fixas de 90 a 200cm.

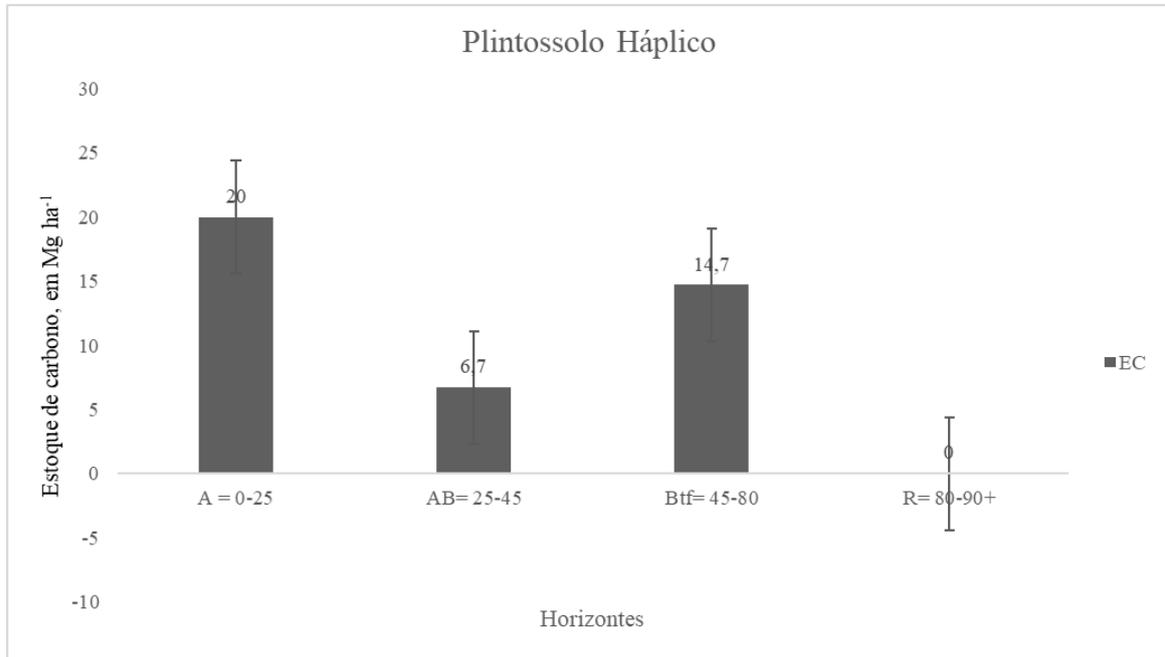


Figura. 22 – Estoque de carbono no perfil Plintossolo Háplico.

O perfil Plintossolo Háplico tem dimensão de 90cm dividido em 4 (quatro) horizontes (**figura. 22**), apresentando concentração nos horizontes A; AB e Btf de estoque de carbono com valores respectivos de 20, 6,7 e 14,7 Mg há⁻¹, e o horizonte R apresentou concentração 0 Mg há⁻¹, pois é um ambiente formado exclusivamente por rochas.

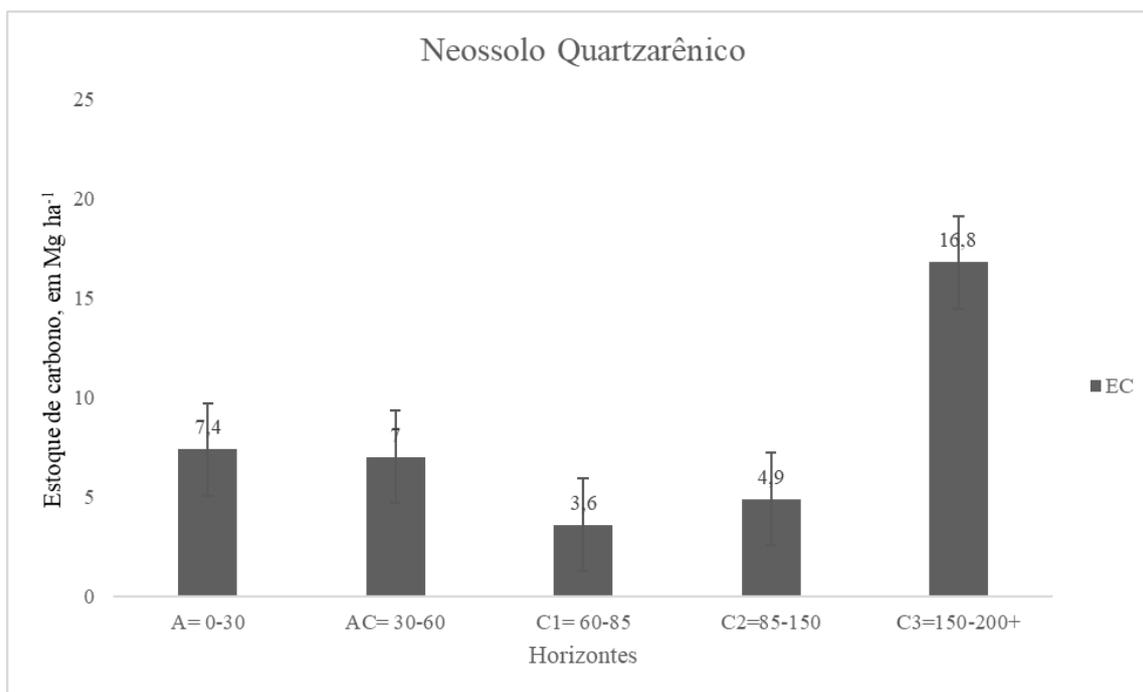


Figura. 23 – Estoque de carbono no perfil Neossolo Quartzarênico.

O perfil Neossolo Quartzarênico apresenta 5 (cinco) horizontes pedogenéticos com dimensão de 65cm (**figura. 23**), para este perfil o EC foi maior nos horizontes C3 e A e as menores concentrações nos horizontes C1 e C2. Os valores de EC variaram entre 3,6 e 16,8 Mg ha⁻¹.

O estudo quantitativo de estoque de carbono nos perfis pedogenéticos e camadas fixas dos solos da cidade de Curral de Cima, apresentaram importantes informações sobre o estoque de carbono sequestrado pelos solos, sendo estes ambientes importante sumidouros de CO₂ atmosférico e na concentração, manutenção e qualidade da água no sistema, bem como na manutenção da temperatura do planeta. Tendo esta cidade potencial na valoração ambiental e econômica, como base na quantificação de estoque de carbono.

3.6.3 Estoque de carbono do solo em Itapororoca

Os estoques de carbono presentes nos solos identificados como: Cambissolo Háplico, Cambissolo Háplico e Argissolo Vermelho-Amarelo da cidade de Itapororoca estão representados nas figuras abaixo, demonstrando a concentração de carbono estocado nos horizontes pedogenéticos e camadas fixas (**Figuras: 24; 25 e 26**).

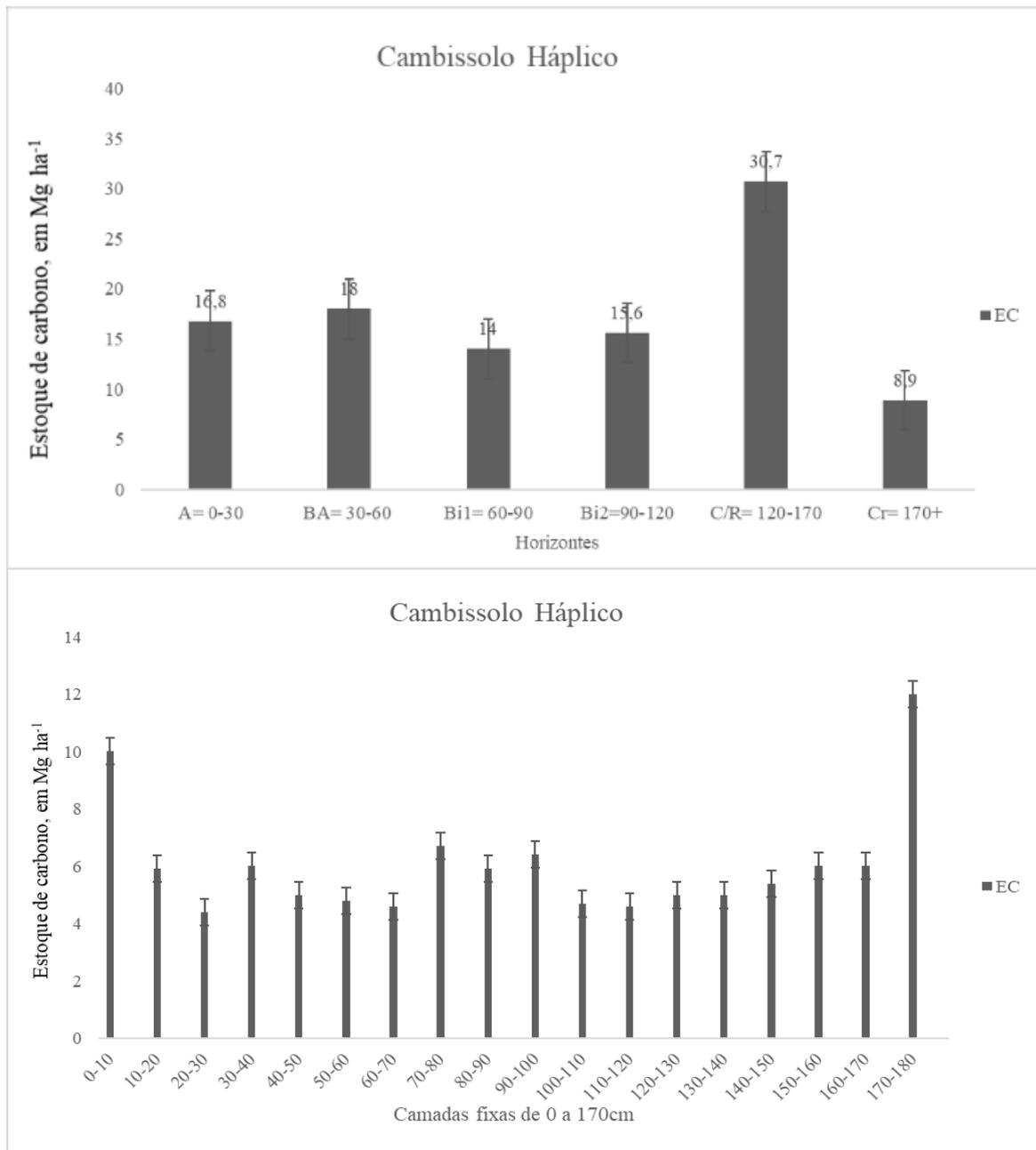


Figura. 24 – Estoque de carbono no perfil Cambissolo Háplico.

O perfil pedogenético Cambissolo Háplico tem dimensão de 170 centímetros, divididos em 6 (seis) horizontes pedogenéticos e em 17 (dezesete) camadas fixas de 10 cm (**Figuras. 24**), a maior concentração de EC está no horizonte C/R com concentração de 30,7 Mg ha⁻¹, as concentrações de menor e maior EC foram de 8,9 a 30,7 Mg ha⁻¹. Dos horizontes A ao Bi2 as concentrações foram aproximadas, a extensão dos referidos horizontes é de 30 centímetros, variando de 14 a 18 Mg ha⁻¹.

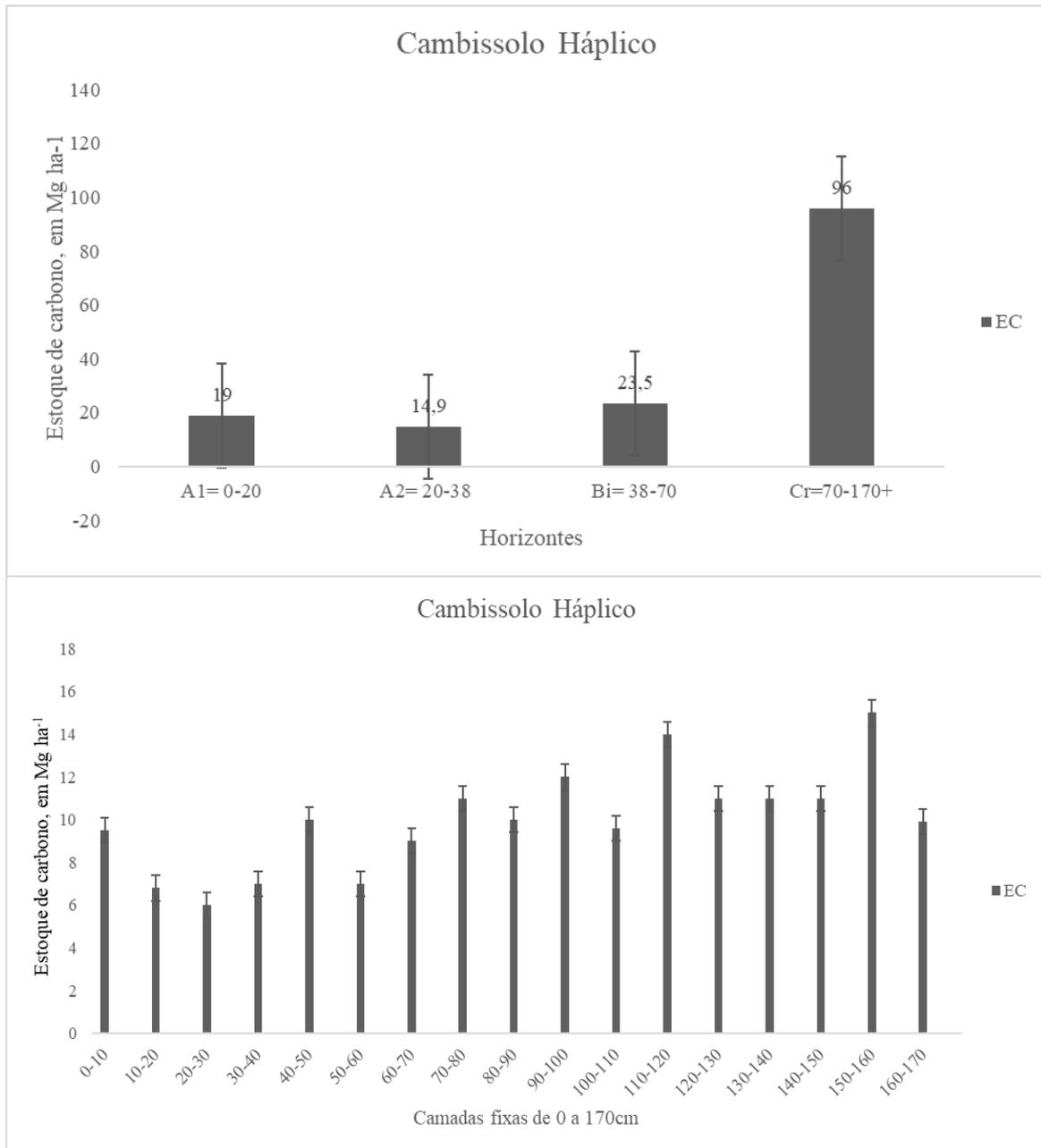
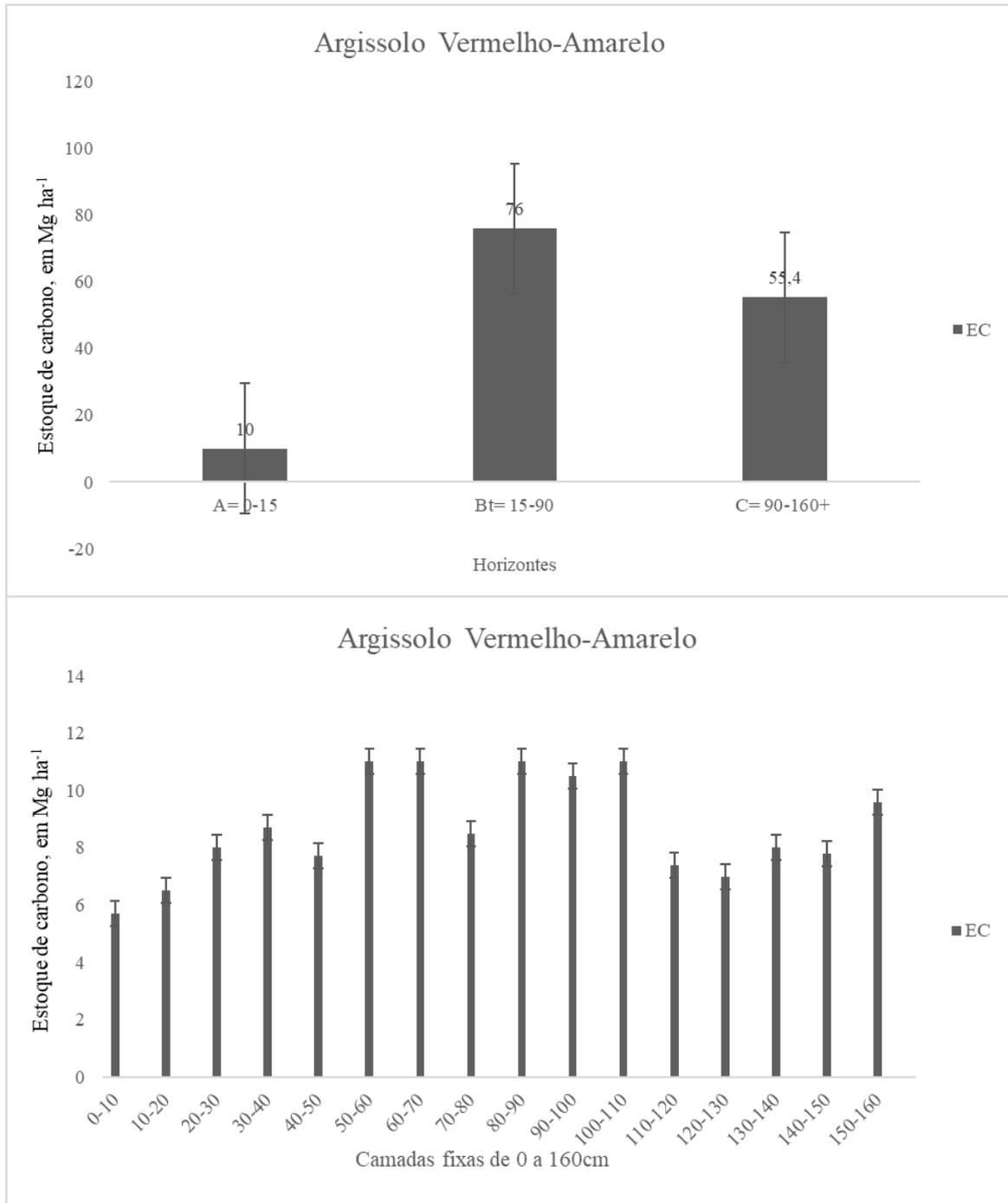


Figura. 25 – Estoque de carbono no perfil Cambissolo Háplico.

O perfil Cambissolo Háplico tem dimensão de 170 centímetros, divididos em 4 (quatro) horizontes pedogenéticos e 17 (dezessete) camadas fixas (**Figuras. 25**), a maior concentração de EC se apresenta no horizonte Cr, está elevada concentração pode ter ocorrido devido a extensão do horizonte. A variação de EC está entre 14,9 a 96 Mg ha⁻¹. As camadas fixas tiveram seus maiores EC nas camadas 110-120 e 150-160 centímetros.



Figuras. 26 – Estoque de carbono no perfil Argissolo Vermelho-Amarelo.

O perfil pedogenético Argissolo Vermelho-Amarelo tem dimensão de 160 centímetros, divididos em 3 (três) horizontes pedogenéticos e 16 (dezesesseis) camadas fixas de 10 cm (**figuras. 26**), a maior concentração de EC está no horizonte Bt, e a menor concentração no horizonte A, essa menor quantidade de estoque de carbono se deu em virtude da dimensão do horizonte A que é aproximadamente 7 (sete) e 5 (cinco) vezes menor em comparação aos

horizontes Bt e C. As observações realizadas nos horizontes são fortalecidas com a observação nas camadas fixas que apresentam EC maiores das camadas de 50 a 110 cm.

Analisando os perfis abertos e quantificados para a cidade de Itapororoca podemos observar que a referida cidade apresentou importante potencial ambiental e econômico devido a concentração de carbono estocado no solo, sabendo que o carbono é um importante condicionador ambiental e importante provisionador e regulador da água, apresentando importância ambiental e também econômica, podendo adquirir através de projetos voluntários, crédito de carbono pela estocagem anual de carbono ao solo.

3.6.4 Estoque de carbono do solo em Riachão do Poço

Os estoques de carbono presentes nos solos da cidade de Riachão do Poço identificados como: Luvisolo Crômico, Neossolo Rigolítico e Argissolo Vermelho-Amarelo estão representados nas figuras abaixo, demonstrando a concentração de carbono estocado nos horizontes pedogenéticos e camadas fixas de 10 cm ao longo do perfil. (**Figuras: 27; 28 e 29**).

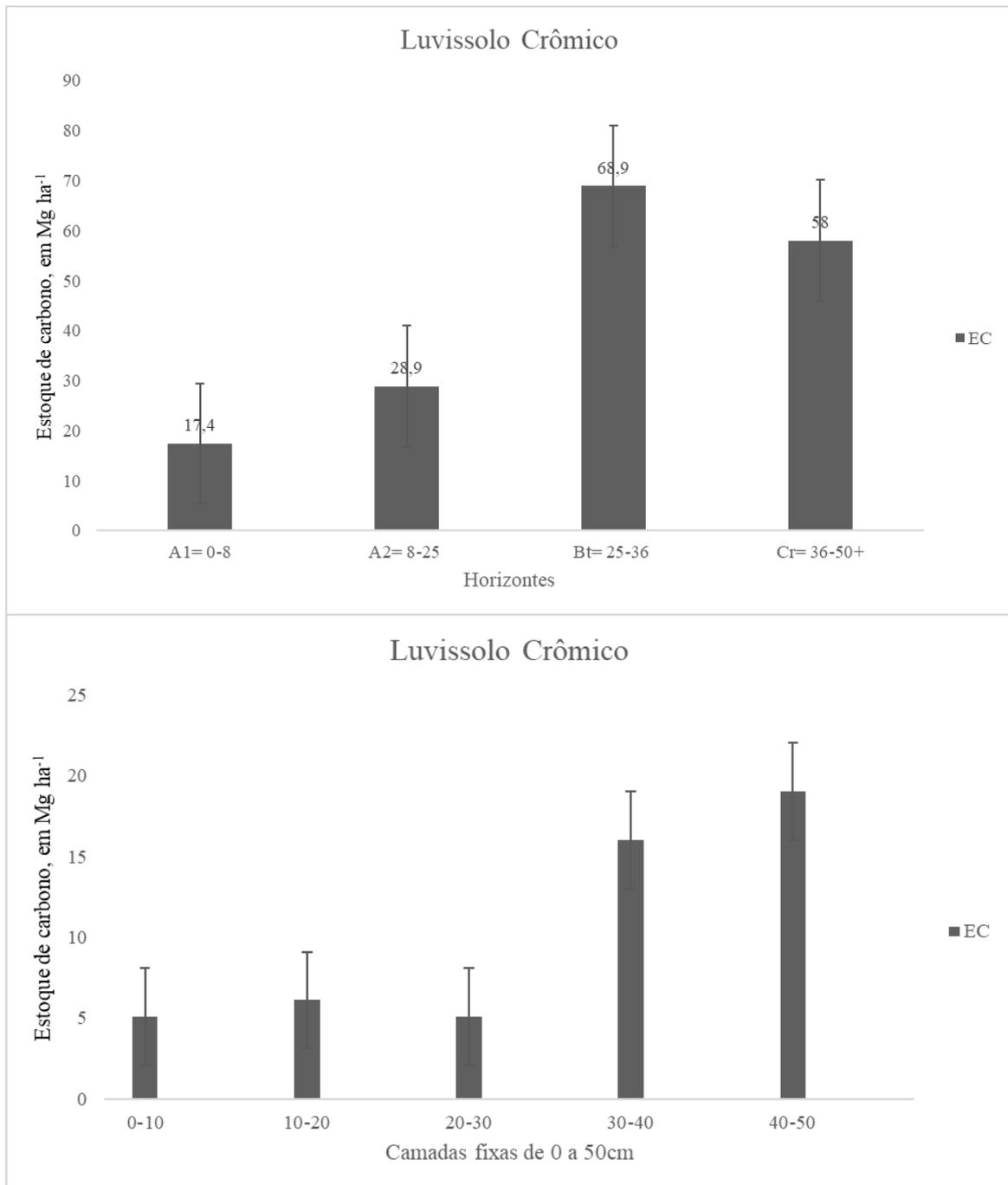


Figura. 27 – Estoque de carbono no perfil Luvisolo Crômico.

O perfil Luvisolo Crômico tem dimensão de 50 centímetros, divididos em 4 (quatro) horizontes pedogenéticos e 5 (cinco) camadas fixas (**Figuras. 27**), o perfil analisado demonstra as maiores concentrações de estoque de carbono nos horizontes Bt e Cr e a menor concentração no horizonte A, sendo comprovado com análise das camadas fixas por apresentar o mesmo padrão de EC. Foi observado neste perfil que o EC é bem significativo comparado a sua dimensão que é de apenas 50 centímetros.

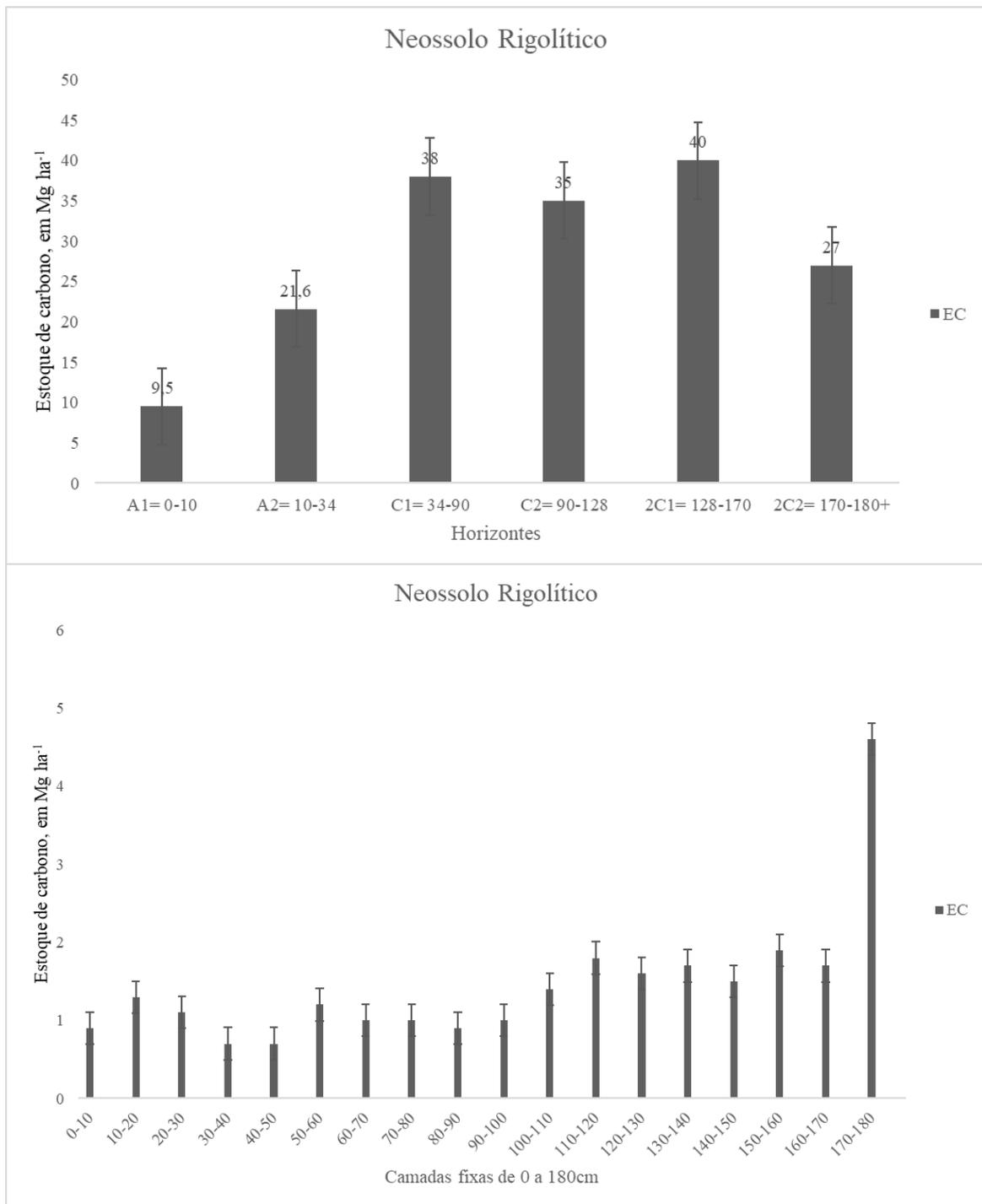


Figura. 28 – Estoque de carbono no perfil Neossolo Rigolítico.

O perfil Neossolo Rigolítico tem dimensão de 180 centímetros, divididos em 6 (seis) horizontes pedogenéticos e 18 (dezoito) camadas fixas de 10 cm (**figuras. 28**), a maior concentração de EC é encontrado nos horizontes C1; 2C1 e C2 respectivamente, e a menor concentração no horizonte A, provavelmente por este solo apresentar maior concentração de

areia nas camadas superficiais e menor extensão do horizonte. A variação de EC está entre 9,6 a 40 Mg ha⁻¹.

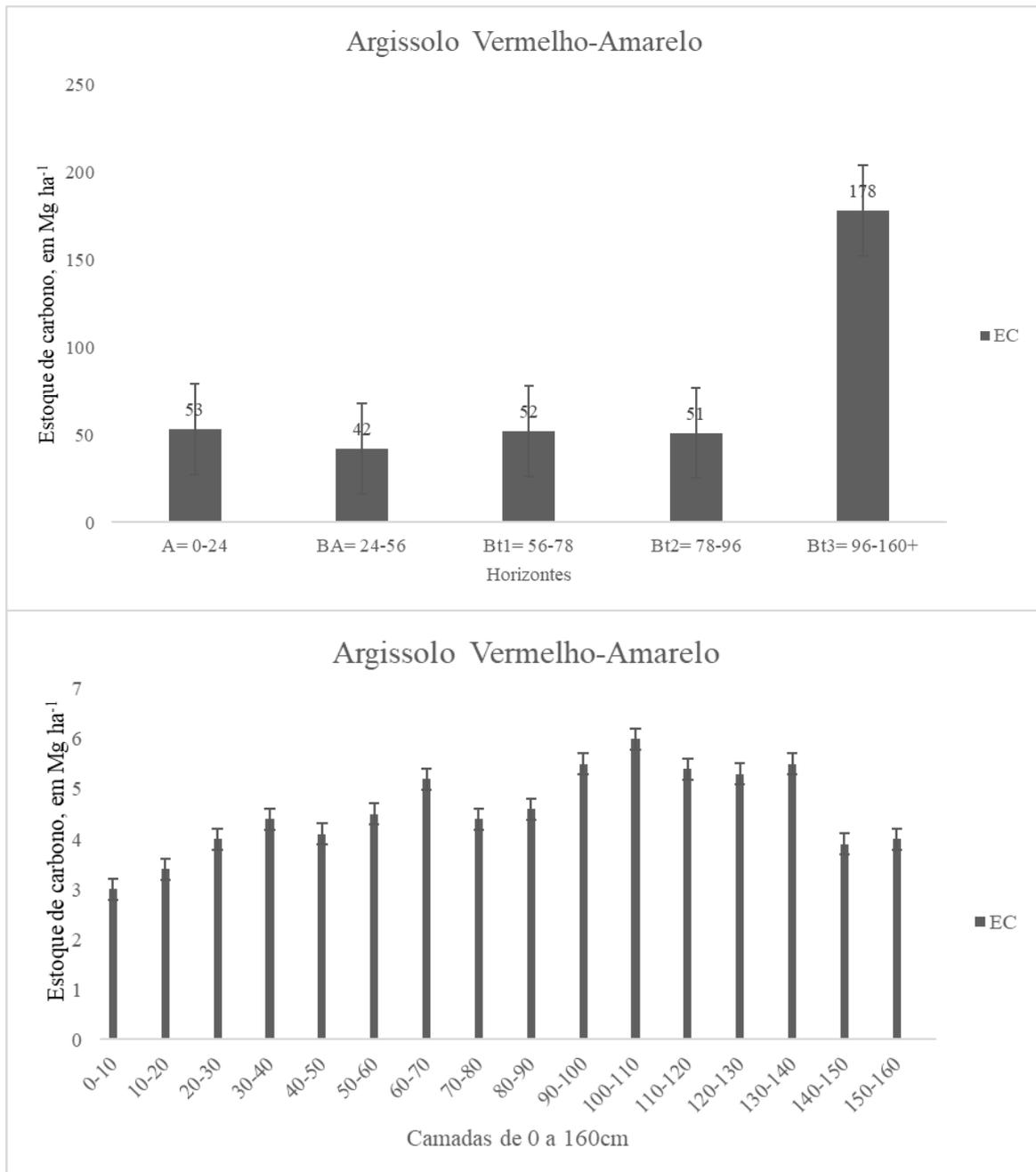


Figura. 29 – Estoque de carbono no perfil Argissolo Vermelho-Amarelo.

O perfil Argissolo Vermelho-Amarelo tem dimensão de 160 centímetros, divididos em 5 (cinco) horizontes pedogenéticos e 16 (dezesesseis) camadas fixas de 10 cm (**Figuras 29**), a maior concentração de carbono é encontrado no horizonte Bt3 que apresentou maior extensão. A concentração de EC variou entre 42 e 178 Mg ha⁻¹. Em análise as camadas fixas observamos maior EC das camadas de 60 a 140 centímetros.

Analisando o estoque de carbono nos solos estudados da cidade de Riachão do Poço podemos observar que são importantes ambientes para manutenção da qualidade ambiental devido ao seu potencial de sequestro de CO₂ atmosférico. Essa característica de sequestro de carbono tem grande potencial na regulação e manutenção da água nestes sistemas e na geração econômica na aquisição de créditos de carbono.

3.7 Discussão

Como as coletas de solo foram realizadas em ambientes de florestas naturais e agroflorestas podemos analisar que as concentrações de EC foram bem próximas, sendo controversos os relatos sobre as taxas de carbono orgânico encontrados no solo em condição de floresta nativa e agroflorestas (Costa et al., 2009). Muitos estudos apontam concentrações de carbono orgânico iguais ou superiores em solos de pastagem (Rangel & Silva, 2007; Carneiro et al., 2009; Costa et al., 2009; Silva Júnior et al., 2009), essa alta concentração de CO é atribuída ao maior aporte de matéria orgânica proporcionado pelos sistemas radiculares e a acelerada rotação de cultura. Muitos trabalhos descrevem teores de carbono orgânico mais altos em solos com vegetação nativa (D'Andréa et al., 2002; Portugal et al., 2008; Cardoso et al., 2009), por apresentarem maior degradação das pastagens e maior aporte de matéria orgânica, proveniente da deposição contínua e variada de substratos orgânicos, provenientes da vegetação nativa que tem maior diversidade de espécies ambiental.

Os atributos físicos, químicos e morfológicos sofrem ação da concentração de matéria orgânica do solo e carbono orgânico do solo. Os solos que apresentaram maior concentração de argilas tiveram maior estoque de carbono, pois os solos argilosos apresentam maior concentração e preservação da matéria orgânica do solo, devido aos fatores de floculação e formação de agregados estáveis. Estes eventos físico/químicos proporciona a proteção física da matéria orgânica do solo, pelo motivo da oclusão da matéria orgânica aos agregados, desta forma impedindo a ação dos microrganismos e o fluxo de oxigênio (Raij, 1969; Silva, 2012; Silva, 2015), enfatizando que quanto maior for a concentração de argila no solo maior será o estoque de carbono, pois a superfície específica da argila é maior, promovendo a formação de organominerais em relação aos solos com maior concentração arenosa.

De acordo com as cidades estudadas quanto ao seu quantitativo de carbono estocado no solo, podemos confirmar que as cidades analisadas apresentam potenciais ambientais e econômicos, pois através de suas quantificações verificamos que todos os solos apresentaram capacidade de drenagem de CO₂ atmosférico, sendo estes solos importantes potencial ambiental

e econômico. A cidade de Alagoinha apresentou os maiores estoques de carbono em suas classes de solo, com variação entre 36 e 403 Mg ha⁻¹, seguidas de Riachão do Poço, Itapororoca e Curral de Cima com as variações de 9,5 - 178 Mg ha⁻¹, 8,9 - 96 Mg ha⁻¹ e 2 - 61 Mg ha⁻¹ respectivamente nos horizontes pedogenéticos. As cidades aqui estudadas apresentaram potências de estoques de carbono em seus perfis, podendo através de suas quantificações pleitear créditos de carbono através de projetos. O EC total em cada cidade foram os seguintes: Alagoinha 1834,5 Mg ha⁻¹, Riachão do Poço 720,3 Mg ha⁻¹, Itapororoca 398,8 Mg ha⁻¹ e Curral de Cima 383 Mg ha⁻¹.

Quanto aos projetos de créditos de carbono, todo cidadão pode pleitear créditos como a quantificação de carbono estocado nos solos. Os créditos são disponibilizados para indivíduos que elaboram projetos voluntários que quantificam o total de carbono que é sequestrado anualmente pelo solo, esses créditos são pagos por empresas que lançam na atmosfera quantidades de CO₂ e outros gases poluentes que causam prejuízos ao ambiente (BNDES - Credcarbo, 2023).

Em comparação ao estoque de carbono entre as cidades estudadas podemos verificar que o município de Alagoinha apresentou a maior EC e a cidade de Curral de Cima apresentaram menor, essa menor quantidade de carbono estocado ao solo tem influência da extensão do perfil, densidade dos horizontes e concentração de MOS, bem como das características das classes de solo. A densidade dos horizontes pedogenéticos dos pontos de referências para cidade de Alagoinha variou de 1,39 a 2,6 g cm⁻³ e as dimensões dos perfis tiveram tamanhos 0 - 130 cm e 0 - 180 cm, já os horizontes pedogenéticos da cidade de Curral de Cima variou entre 0,8 a 2,1 g cm⁻³ e as dimensões dos perfis tiveram tamanhos entre 0 - 65 cm e 0 - 200 cm.

A melhoria dos serviços ecossistêmicos de estoque de carbono nos solos traz inúmeros benefícios para o planeta, pois, além de promover a diminuição das ações do efeito estufa, o carbono presente no solo promove maior disposição de nutrientes para o ambiente fortalecendo as ações biogeoquímicas nos ecossistemas (Cardoso et al., 2010; Stockmann et al., 2015; Georgiou et al., 2022). Sobre essas ações as classes de cobertura/uso do solo podem sofrer diminuição, causando valorização ou desvalorização nos serviços ecossistêmicos do solo de acordo como o manejo e ou preservação do sistema. Para Lal, 1998, 2002; Santana et al., 2019, a mitigação das ações do efeito estufa tem como destaque primordial os ecossistemas terrestres, que nas últimas décadas, vem tendo importante evidência no sequestro e estocagem de carbono atmosférico, que outrora não recebiam importante relevância comparadas aos ecossistemas aquáticos.

As cidades estudadas apresentam uma economia com base nas monoculturas e ou agroflorestas, porém, podemos compreender que muitos métodos de manejo inadequados, podem reduzir significativamente os serviços ecossistêmicos de estoque de carbono, em comparação as florestas naturais (Costa et al., 2009).

Muitas populações promovem a técnica de incêndios nestas culturas para promoção de lucro a curto prazo, técnica essa que prejudica os serviços ecossistêmicos, estas técnicas de incêndios são utilizadas nas maiorias das cidades estudadas nas plantações de abacaxi, macaxeira, amendoim, feijão, cana-de-açúcar e do milho. Outros riscos que são influenciados por essa ação é o aumento de pragas para as culturas, doenças e alta emissão dos gases que aceleram o efeito estufa, sendo este tipo de manejo insustentável pela criação de inúmeros desserviços como a erosão, poluição dos corpos d'água, emissão de gases, perda de habitat e biodiversidade, e perdas de água e nutrientes.

Sabendo da importância do serviço ecossistêmico de estoque de carbono no solo, e de sua importância ecológica por fortalecer os atributos físicos, químicos e biológicos do sistemas, os solos que apresentam elevadas concentração de carbono em sua constituição, será este um dreno efetivo para o provisionamento e retenção de água, sendo a água uma das substâncias essencial para a produção de substancias orgânica através do processos de fotossíntese, e assim promovendo maior captação do gás carbônico atmosférico, promovendo o fortalecimento dos ciclos biogeoquímicos (Farias et al., 2008; Silva, 2015).

3.8 Conclusões

Os serviços ecossistêmicos dos solos sofrem ações diretas das classes de cobertura/uso do solo/vegetação, e as dimensões destas classes podem sofre desgastes por meio da ação antrópica, essas ações podem afetar os serviços ecossistêmicos ambientais, por ação da degradação e poluição do ambiente.

Os atributos físicos, químicos e morfológicos contribuíram com a maior e ou menor concentração de estoque de carbono nos solos estudados. Os perfis referentes a cidade de Alagoinha apresentaram maiores concentração de matéria orgânica do solo, maior densidade em seus horizontes e maior proporção de argila. Já os perfis pedogenéticos estudados da cidade de Curral de Cima apresentaram menor concentração de matéria orgânica do solo, menor densidade e maior concentração de areia, apresentando o menor estoque de carbono entre as 4 (quatro) cidades analisas.

Os serviços ecossistêmicos de estoque de carbono oferecem informações sobre as ações no ecossistema, pois através desta análise podemos compreender a importância do carbono presente no solo, sendo este um agente condicionador, estando relacionado as melhorias dos atributos físicos, químicos e biológicos do sistema.

O estoque de carbono quantificado para as cidades de implementação dos PSAs – Planos de Segurança da Água, apresentou maior estoque nos perfis de coletas na cidade de Alagoinha, estes pontos ficam localizados próximos aos principais mananciais que abastece a cidade, o município que apresentou menor concentração de estoque de carbono foi a cidade de Curral de Cima. Os valores correspondentes ao valor mínimo e máximo nos horizontes coletados para as cidades de Alagoinha e Curral de Cima foram respectivamente 36 e 403 Mg ha⁻¹ e 2 e 61 Mg ha⁻¹. Todas as cidades apresentaram potenciais ambientais, e econômicos, podendo captar créditos de carbono por meios de projetos voluntários que avaliam a quantificação anual de carbono estocado no solo e seus impactos sobre o clima.

3.9 Referências

- ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G., **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, 2013.
- BALESDENT, J. **Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage**. *Soil and tillage Research*, Amsterdam, v.53, p.215-230, 2000.
- BORTOLUZZI, E.C., RHEINHEIMER, D. DOS S., PETRY, C., KAMINSKI, J., **Contribuição de constituintes de solo à capacidade de troca de cátions obtida por diferentes métodos de extração**. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 33, 507–515. 2009.
- BNDES - CREDITO DE CARBONO - <https://credcarbo.com>. Disponível em: <https://credcarbo.com/carbono/qual-o-valor-de-1-credito-de-carbonotonelada-de-co2-no-mercado-internacional-hoje/> - Acessado em 13 de novembro de 2023
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. **Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils**. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:123-130, 1994.
- CARDOSO, E.L. **Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.45, n.9, p.1028-1035, 2010.
- CARDOSO, E.L., SILVA, M.L.N., SILVA, C.A., CURTI, N., FREITAS, D.A.F. DE., **Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal**. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 45, 1028–1035. 2010.
- CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D. de; REIS, E.F. dos; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R. **Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.147-157, 2009.
- COSTA, O.V.; CANTARUTTI, R.B.; FONTES, L.E.F.; COSTA, L.M. da; NACIF, P.G.S.; FARIAS, 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, p.1137-1145, 2009.
- D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. **Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do estado de Goiás**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.913-923, 2002.
- Embrapa solos. Mapa exploratório - reconhecimento de solos do estado da Paraíba, 2020. Disponível em: [Mapa exploratório - reconhecimento de solos do estado da Paraíba — geoinfo.cnps.embrapa.br](http://geoinfo.cnps.embrapa.br). Acessado em: 18 de agosto de 2023.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2017. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 3.ed. Embrapa 2017.

FARIA, G.E.; BARROS, F.N.; Novais, R.F., SILVA, I.R.; NEVES, J.C.L., **Carbono Orgânico Total da Matéria Orgânica do Solo em Diferentes Distâncias do Tronco de Eucalipto**. Sci. For. Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 265-277, dez. 2008.

FERNANDES, E.B. **Emissões de CO₂, N₂O e N₂O em solos sob diferentes cultivos na região do Cerrado**. 2008. 138 p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. **Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região sudeste do Brasil**. Bras. Ci. Solo, v. 23, p. 507-514, 1999.

FUJISAKA, S. **The effects of forest conversion on annual crops and pastures: Estimates of carbon emissions and plant species loss in Brazilian Amazon colony**. Agriculture, Ecosystems and Environment, Amsterdam, v. 69, p. 17-26, 1998.

GEORGIU, K., JACKSON, R.B., VINDUŠKOVÁ, O., ABRAMOFF, R.Z., AHLSTRÖM, A., FENG, W., HARDEN, J.W., PELLEGRINI, A.F.A., POLLEY, H.W., SOONG, J.L., RILEY, W.J., TORN, M.S., **Global stocks and capacity of mineral-associated soil organic carbon**. Nat. Commun. 13, 3797. 2022.

JANTALAIA, C.P. **Mudanças no estoque de C do solo em áreas de produção de grãos: avaliação do impacto do manejo do solo**. In: ALVES, B.J.R. et al. (Ed). **Manejo de sistemas agrícolas: Impactos no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Gênese, p. 35-57. 2006.

LAL, R. **Soil carbon dynamics in cropland and rangeland**. Environmental Pollution, Massachusetts, v.116, p. 353-362, 2002.

Lal, R., **Soil processes and the carbon cycle**, Advances in soil science. CRC Press, Boca Raton, Fla. (Ed.), 1998.

MEDEIROS, B. M., **Atualização da classificação do mapa de solos da Paraíba**. Monografia (Graduação em agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia. 38f, 2018.

PEREIRA, P., BOGUNOVIC, I., MUÑOZ-ROJAS, M., BREVIK, E.C., **Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management**. Curr. Opin. Environ. Sci. Health 5, 7–13. 2018.

PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.D.'A. V.; COSTA, L.M. da; SANTOS, B.C.M. **Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata mineira**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.249-258, 2008.

POST, W.M.; KNOW, K.C. **Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential**. Global Change Biology, Oxford, v.6, n.3, p.317-327, 2000.

PRIBYL D W. 2010. **A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor**. Geoderma. 156: 75–83, 2010.

Projeto de Lei 2148/15 - Disponível em: **Câmara aprova projeto que regulamenta o mercado de carbono no Brasil - Notícias - Portal da Câmara dos Deputados** (camara.leg.br). Acessado em 23 de dezembro de 2023.

RAIJ, B. VAN., **A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos**. *Bragantia* 28, 85–112. 1969.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. **Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1609-1623, 2007.

SANTANA, M. DA S., SAMPAIO, E.V. DE S.B., GIONGO, V., MENEZES, R.S.C., JESUS, K.N. DE, ALBUQUERQUE, E.R.G.M. DE, NASCIMENTO, D.M. DO, PAREYN, F.G.C., CUNHA, T.J.F., SAMPAIO, R.M.B., PRIMO, D.C., **Carbon and nitrogen stocks of soils under different land uses in Pernambuco state, Brazil**. *Geoderma Reg.* 16, e00205. 2019.

SCHOENEBERGER, P. J. D. A., WYSOCKI, E.C. **Soil Survey Staff. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0**. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE. 297p, 2012.

STOCKMANN, U., PADARIAN, J., MCBRATNEY, A., MINASNY, B., DE BROGNIEZ, D., MONTANARELLA, L., HONG, S.Y., RAWLINS, B.G., FIELD, D.J., **Global soil organic carbon assessment**. *Glob. Food Secur.* 6, 9–16. 2015.

SILVA JÚNIOR, M.L. da; DESJARDINS, T.; SARRAZIN, M.; MELO, V.S. de; MARTINS, P.F.; SANTOS, E.R.; CARVALHO, C.J.R. **Carbon content in Amazonian Oxisols after Forest conversion to pasture**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.1603-1611, 2009.

SILVA, E. A., **Frações de carbono em topossequências de solos sob eucalipto com diferentes históricos de uso**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.36, p. 1167 - 1178, 2012.

SILVA, L.J., **Estoque de Carbono e nitrogênio de solos e sua relação com os atributos químicos do solo, água e sedimentos marginais como indicadores de manejo e conservação de ecossistemas na Bacia do Rio Paraopeba – MG**. Dissertação - UFV – Florestal/MG, 2015.

VELDKAMP, E. **Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after Deforestation**. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 58, p. 175-180, 1994.

ZHAO, T., WANG, Y., **Interpolation and stratification of multilayer soil property profile from sparse measurements using machine learning methods**. *Eng. Geol.* 265, 105430. 2020.

ZINN, Y.L.; LAL, R. & RESCK, D.V.S. **Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil**. *Soil Till. Res.*, 84:28-40, 2005.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O serviço ecossistêmico de estoque de carbono avalia o equilíbrio climático pela drenagem de gás carbônico sequestrado da atmosfera.

O sequestro de carbono pelo solo diminui as ações do efeito estufa.

Com o estudo quantitativo de carbono no solo podemos avaliar a qualidade ambiental, tendo relação direta com serviços de retenção e regulação da água no ecossistema, por essa razão o estudo do solo é primordial para o melhoramento da metodologia dos PSAs – Planos de Segurança da Água.

O Plano de Segurança da Água é um instrumento que avalia os riscos e perigos sobre contaminantes de água do manancial até o consumidor.

A incorporação do estudo do solo, com base no estoque de carbono fortalece a metodologia dos PSAs pela avaliação primária do principal fator ambiental que é o solo.

Além da importância ecológica o serviço ecossistêmico de estoque de carbono proporciona para as cidades estudadas uma avaliação sobre os quantitativos de carbono estocado no solo, tendo essas cidades potenciais econômicos para a aquisição de créditos de carbono por meio de projetos voluntários, podendo assim contribuir com o fortalecimento da economia local.