



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

RUAN VERAS DO AMARAL

**O MANEJO EXTRATIVISTA INFLUENCIA A DINÂMICA DO CARBONO E
NUTRIENTES EM CARNAUBAIS NATIVOS?**

FORTALEZA

2023

RUAN VERAS DO AMARAL

O MANEJO EXTRATIVISTA INFLUENCIA A DINÂMICA DO CARBONO E
NUTRIENTES EM CARNAUBAIS NATIVOS?

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo do Solo e da Água e Matéria Orgânica do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Julius Blum.
Coorientador(a): Prof^ª. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A517m Amaral, Ruan Veras do.
 O manejo extrativista influência a dinâmica do carbono e nutrientes em carnaubais nativos? / Ruan Veras do Amaral. – 2023.
 62 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2023.
 Orientação: Prof. Dr. Julius Blum.
 Coorientação: Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.
1. Extrativismo. 2. Biomassa Viva. 3. Copernicia prunifera. 4. Pó cerífero. I. Título.
- CDD 631.4
-

RUAN VERAS DO AMARAL

O MANEJO EXTRATIVISTA INFLUENCIA A DINÂMICA DO CARBONO E
NUTRIENTES EM CARNAUBAIS NATIVOS?

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo do Solo e da Água e Matéria Orgânica do Solo.

Aprovado em: 28/11/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Julius Blum (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Gabriel Nuto Nóbrega
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Maria Ivanilda de Aguiar
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

A Deus.

Meus pais Lucia Camelo e Raimundo Nonato.

Minhas Irmãs Raniely e Shara.

Minha Esposa, Débora.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).

Ao Prof. Dr. Julius Blum, pela excelente orientação e dedicação ao trabalho.

Os professores participantes da banca Prof. Dr. Gabriel Nuto Nóbrega, Prof. Dra. Maria Ivanilda de Aguiar e Prof. Dr. Helon Hébano de Freitas Sousa pelo tempo e pelas valiosas colaborações e sugestões.

A coorientadora Prof^a. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa pelo apoio e disponibilidade e empenho no desenvolvimento do trabalho.

Aos técnicos de laboratório, em especial a Deyse Maia, técnica do Lab. Manejo.

A empresa Pontes Industria de Cera e o Instituto Pontes para o Crescimento em nome da Lais Pontes e funcionários da fazenda Domingos Pontes, pelo apoio financeiro, infraestrutura e disponibilidade da área para realização do estudo.

Ao Ruan Lessa pela forte parceria e empenho no desenvolvimento do trabalho.

Ao Renan Gomes, pelo grande apoio e empenho como IC da pesquisa.

A Débora pelas ajudas em campo, laboratório e na escrita do trabalho.

“Eu sou do Nordeste, peixeira na mão
Eu sou cabra da peste, não olha pro lado
Isso aqui não é teste”

(Welison, Cabra da peste –2022)

RESUMO

A ação antrópica pode impactar de maneira negativa ou positiva o comportamento paisagístico de comunidades vegetais. No Nordeste brasileiro uma das atividades mais característica da região, o extrativismo da *Copernicia prunifera* (Miller) HE Moore ou popularmente conhecida como Carnaúba é exemplo de um extrativismo, ocorrendo principalmente em comunidades tradicionais, como fonte de sustento de inúmeras famílias. Pessoas envolvidas no manejo da carnaúba, constatarem visualmente que o corte das folhas, induz ao crescimento vegetativo mais intenso das palmeiras. A partir dessa observação, levantou-se a hipótese de que o sequestro de carbono por indivíduos de *Copernicia prunifera* (Miller) HE Moore manejados é superior ao sequestro de carbono de indivíduos não manejados. O objetivo geral do estudo é foi avaliar a influência da atividade extrativista sobre o sequestro de carbono, estoque de nutrientes e a produção de biomassa em ecossistemas de carnaubais nativos. Para cumprir com esse objetivo foram avaliadas a produção de biomassa, exportação de biomassa e nutrientes pelo extrativismo e estoque de carbono e fertilidade do solo sob e fora da influência de palmeiras manejadas e não manejadas. O estudo foi realizado em delineamento inteiramente ao acaso e os dados foram submetidos a análise de variância, teste de comparação de médias (Tukey) e testes das pressuposições de homogeneidade das variâncias e distribuição normal dos erros. O manejo extrativista de retirada de folhas de carnaubais possui baixa capacidade de exportação de carbono e nutrientes. Sendo que a influência desse manejo possui capacidade de estimular a produção de folhas pelas plantas de carnaúba e é provável que estimule a produção e deposição de biomassa das outras plantas presentes no sistema, visto que a área sem influência direta da planta da carnaúba apresentou maior concentração de carbono no solo na unidade manejada. A Carnaúba revelou-se como um compartimento para estocagem de carbono tão importante quanto o solo. Sendo que o adensamento de carnaubais nativos e de reflorestamento possuem importante potencial para sequestro de carbono.

Palavras-chave: extrativismo; biomassa viva; *Copernicia prunifera*; pó cerífero.

ABSTRACT

Anthropogenic action can negatively or positively impact the landscape behavior of plant communities. In the Brazilian Northeast, one of the region's most characteristic activities, the extraction of *Copernicia prunifera* (Miller) HE Moore or popularly known as Carnaúba, is an example of extractivism, occurring mainly in traditional communities, as a source of livelihood for countless families. People involved in carnauba management visually verified that cutting the leaves leads to more intense vegetative growth in the palm trees. From this observation, the hypothesis was raised that carbon sequestration by managed *Copernicia prunifera* (Miller) HE Moore individuals is superior to carbon sequestration by unmanaged individuals. The general objective of the study was to evaluate the influence of extractive activity on carbon sequestration, nutrient stocks and biomass production in native carnauba ecosystems. To achieve this objective, biomass production, export of biomass and nutrients through extractivism and carbon stock and soil fertility were evaluated under and outside the influence of managed and unmanaged palm trees. The study was carried out in a completely randomized design and the data were subjected to analysis of variance, mean comparison test (Tukey) and tests of the assumptions of homogeneity of variances and normal distribution of errors. The extractive management of removing carnauba leaves has a low capacity to export carbon and nutrients. Since the influence of this management has the capacity to stimulate the production of leaves by carnauba plants and is likely to stimulate the production and deposition of biomass from other plants present in the system, since the area without direct influence of the carnauba plant presented a higher concentration of carbon in the soil in the managed unit. Carnaúba proved to be a carbon storage compartment as important as the soil. The density of native carnauba forests and reforestation has important potential for carbon sequestration.

Keywords: extractivism; living biomass; *Copernicia prunifera*; ceriferous powder.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de Caucaia no Ceará.....	23
Figura 2 - Comparação entre CM e CNM. A – Carnaúba não manejada; B – Carnaúba Manejada.....	23
Figura 3 - Coleta do pecíolo das palhas de carnaúba; C – Marcação da palha mais nova na área CNM.....	25
Figura 4 - Lavagem da palha de carnaúba, detalhe para o pó cerífero presente.....	26
Figura 5 - Passo a passo do processo moagem do material. A) A folhas; (B) Pecíolo e (C) O resultado do material processado.....	26
Figura 6 - Desenho esquemático das delimitações de espaço para as coletas em cada tratamento.....	27
Figura 7 - Coleta de dados biométricos. (A) Desbaste da parte dos pecíolos que ainda permaneciam no tronco; (B) Aferição da circunferência até a altura do peito; (C) e (D) Altura da planta utilizado vara de bambu.....	30

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Biomassa total aérea e Subaérea.....	31
Gráfico 2 – Carbono orgânico do solo de 0 a 10 e 10 a 30 cm de profundidade.....	36
Gráfico 3 – Estoque de carbono na profundidade de 0 a 30 cm.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área superficial e volume de raízes.....	32
Tabela 2 - Nutrientes do tecido vegetal.....	33
Tabela 3 - pH e teores de nutrientes na profundidade de 0 a 10 cm.....	34
Tabela 4 - pH e teores de nutrientes na profundidade de 10 a 30 cm.....	34
Tabela 5 - Média por área da porcentagem de carbono nos tecidos vegetais.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima
GEEs	Gases do Efeito Estufa
MOS	Matéria Orgânica do Solo
DIC	Delineamento de blocos Inteiramente Casualizados
CM	Carnaúbas Manejada
CNM	Carnaúbas Não Manejada
SCM	Sem Carnaúba Manejada
SCNM	Sem Carnaúba Não Manejada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	A CARNAÚBA.....	18
2.2	EXTRATIVISMO E EXPLORAÇÃO DA [<i>COPERNICIA PRUNIFERA</i> (MILLER) HE MOORE]	19
2.3	MANEJO DOS CARNAÚBAIS NATIVOS.....	20
2.4	CICLO GLOBAL DE CARBONO	22
2.4.1	<i>SEQUESTRO DE CARBONO</i>	23
2.5	RELAÇÃO DO MANEJO DO SOLO E PLANTAS COM SEQUESTRO DE CARBONO	24
2.6	MÉTODOS DE ESTUDO DO SEQUESTRO DE CARBONO.....	26
2.6.1	<i>BIOMASSA E ALOMETRIA</i>	28
3	METODOLOGIA.....	30
3.1	A ÁREA DE ESTUDO	30
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E DEFINIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS.....	30
3.3	AMOSTRAGEM E DETERMINAÇÃO DE NUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO DA FOLHA E DO PECÍOLO.....	32
3.4	PREPARO DE AMOSTRAS E ANÁLISE DE TECIDOS VEGETAIS	33
3.5	AMOSTRAGEM DE SOLO.....	35
3.6	AMOSTRAGEM E DETERMINAÇÃO DA MASSA DE RAIZES	35
3.7	PREPARO DAS AMOSTRAS DE SOLO E ANÁLISES.....	36

3.8	DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA DAS CARNAUBAS POR EQUAÇÕES ALOMETRICAS.....	36
3.9	ANÁLISE ESTATÍSTICA	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.2	BIOMASSA DAS CARNAUBAS, EXPORTAÇÃO DE CARBONO E NUTRIENTES	38
4.3	FERTILIDADE DO SOLO	42
4.4	CARBONO NO SOLO	43
4.5	CARBONO NA PLANTA	47
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
	REFERÊNCIAS	50
	ANEXO A – FICHA DE CLÁSSIFICAÇÃO DOS SOLOS DA ÁREA DE CARNAUBAL	61

1 INTRODUÇÃO

A domesticação dos ecossistemas pela espécie humana foi o processo mais importante de toda a história evolutiva, o ser humano foi capaz de se adaptar as mais diversas condições e meios, sendo necessário desenvolver técnicas que permitissem tal feito (ALBUQUERQUE; MELO, 2018; JONES et al., 2021). Desde os primórdios, a extração de produtos florestais não madeireiros (PFNM), foram a principal fonte de subsistência, por meio da coleta de alimentos de origem vegetal e prática da caça, antecedendo até mesmo as primeiras atividades agrícolas (ALBUQUERQUE; GONÇALVES-SOUZA, 2022; DIAMOND, 2002; HIRONAKA, 2000; MEYER; PURUGGANAN, 2013; WICKENS, 1991).

Historicamente, a caça e coleta para subsistência dos humanos cedeu lugar à domesticação de plantas como consequência da permanência em assentamentos humanos, causando a perturbação local dos ecossistemas naturais, como o corte de árvores, o cultivo, uso do fogo, aporte de nutrientes ao solo e seleção de características favoráveis em vegetais para a produção de alimentos (ALBUQUERQUE; GONÇALVES-SOUZA, 2022; JONES et al., 2021; RIVERA ANDÍA; VINDAL ØDEGAARD, 2019).

No entanto, embora a agricultura permaneça em evidencia na atualidade e evoluindo em paralelo aos avanços tecnológicos (FRASER; CAMPBELL, 2019), as atividades extrativistas com finalidades comerciais e, em algumas populações tradicionais como modo de subsistência, permanece como fator de extrema importância para a humanidade, pois a utilização de PFNM para comercialização como commodities apresenta uma complexidade de fatores que influencia a socioeconomia mundial, variando de mercados pouco valorizados á beneficiamentos mais robustos de alto rendimento (BACHI; RIBEIRO, 2022).

Atualmente, com o extrativismo emergem questões de degradação ambiental, desenvolvimento sustentável, supremacia de recursos e alternativas para populações vulneráveis (RIVERA ANDÍA; VINDAL ØDEGAARD, 2019). De modo geral, a ação antrópica pode impactar de maneira negativa ou positiva o comportamento paisagístico de comunidades vegetais (ANDERSON et al., 2020).

No Nordeste brasileiro e como uma das atividades mais característica da região, o extrativismo da *Copernicia prunifera* (Miller) HE Moore ou popularmente conhecida como Carnaúba é exemplo de um extrativismo, ocorrendo principalmente em comunidades tradicionais, como fonte de sustento de inúmeras famílias. É uma das atividades mais notáveis e de grande impacto social que está presente desde os primórdios da economia nordestina, compreendendo os estados do Ceará, Maranhão, Rio Grande do Norte e Piauí (D'ALVA, 2004;

SILVA; MARQUES; MOREIRA, 2017).

Em decorrência de suas inúmeras utilidades, a carnaúba, palmeira da família *Arecaceae* endêmica do Nordeste, também conhecida como árvore da providência, árvore da vida, boi vegetal etc., acumula adjetivos por sua importância socioeconômica e cultural para os povos sertanejos, das raízes ao ápice de sua copa, toda a biomassa é utilizada para os mais diversos fins (D'ALVA, 2004; PEREIRA JUNIO et al., 2022).

As raízes possuem características medicinais, o tronco dá suporte as construções, o palmito e as frutas servem como fonte nutritiva para animais, as folhas podem ser utilizadas no artesanato para confecção de peças de utilidade definida ou decorativa, assim como podem servir de cobertura das construções, dentre outras aplicações (D'ALVA, 2004). Porém, a atividade de maior impacto financeiro é a extração do pó cerífero presente nas folhas da carnaúba, uma característica que a espécie apresenta como proteção em decorrência de adaptação ao semiárido.

A partir do pó é produzido uma das ceras vegetais mais valiosas do mundo, suas propriedades lhe conferem um ponto de fusão mais elevado, variando não apenas das condições ambientais, mas da origem foliar, a idade das folhas agrega características diferenciadas para os tipos de cera (ALLAN et al., 2013a; CRUZ et al., 2002).

No extrativismo do pó cerífero, quase todas as folhas da copa da palmeira são retiradas, permanecendo apenas um ou dois brotos apicais para garantir a sobrevivência da planta. A adoção de tal manejo perpassa por discussões referente a questões de sustentabilidade, conservação da espécie, impacto ambiental, tanto na comunidade vegetal como sobre o solo (DE SOUSA et al., 2015; WADT; KAINER; GOMES-SILVA, 2005). Neste contexto, a hipótese de que a retirada das folhas pode causar quebra no ciclo biogeoquímico do sistema com a exportação de nutrientes, prevendo assim um esgotamento dos estoques de nutrientes do solo do carnaubal foi testada em um estudo realizado por Piñeiro (2016). Porém, essa hipótese não se confirmou, pelo contrário, foi constatado que o solo sobre influência da carnaúba manejada, apresentou concentrações de nutrientes e carbono orgânico maiores que o solo sem influência das carnaúbas manejadas. Evidenciando que existem outros mecanismos relacionados à conservação de nutrientes e carbono no solo de carnaubais manejados.

Esses mecanismos podem estar relacionados ao efeito do manejo na produção de biomassa pelas plantas, pois pessoas envolvidas no manejo da carnaúba, constataram visualmente que o corte das folhas, induz ao crescimento vegetativo mais intenso das palmeiras. A partir dessa premissa, elenca-se a hipótese de que o sequestro de carbono por indivíduos de *Copernicia prunifera* (Miller) HE Moore manejados é superior ao sequestro de carbono de

indivíduos não manejados.

O objetivo geral do estudo foi avaliar a influência da atividade extrativista sobre o sequestro de carbono, estoque de nutrientes e a produção de biomassa em ecossistemas de carnaubais nativos. Para cumprir com o objetivo geral os seguintes objetivos específicos foram cumpridos: (I) comparar a produção de biomassa e fixação de carbono entre palmeiras manejadas e não manejadas; (II) comparar o estoque de carbono no solo sob influência de palmeiras manejadas e não manejadas. (III) verificar qual é a proporção do conteúdo do carbono retirado das plantas que permanece no sistema por meio da deposição dos pecíolos; (IV) Quantificar a biomassa total das plantas por meio de equações alométricas

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A CARNAÚBA

A *Copernicia prunifera* (Miller) HE Moore, popularmente conhecida como Carnaúba ou Carnaubeira, é uma palmeira da família das Arecaceae também conhecida pelo nome obsoleto Palmae (DE ALMEILDA et al., 2021a; LORENZI, 1992).

A carnaúba é composta por um estipe ereto e sem ramificação, revestido pelos remanescentes de pecíolos das folhas já caídas de forma espiral. Suas folhas flabeliformes (em forma de leque), cerosas, formando copa globosa, pecíolo longo com acúleos marginais, floração ocorre por meio de inflorescências intrafoliares, mais longas que as folhas, ramificadas, ráquulas com até 12 cm de comprimento x 2 mm de diâmetro. Os frutos possuem formas ovóides ou globosos com 1.5-3.0 cm de comprimento, possui de 30 a 50 centímetros de diâmetro e altura de até 40 metros (RANZATO FILARDI et al., 2018; ROCHA et al., 2015; ZAPPI et al., 2015).

A carnaúba pode ser encontrada no domínio morfoclimático da Caatinga e Cerrado, ocorrendo nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. As palmeiras dessa espécie se adaptam muito bem em solos argilosos, podendo ocorrer predominantemente nos vales dos rios nordestinos. (D'ALVA, 2004; LORENZI, 1992; SILVA; MARQUES; MOREIRA, 2017).

Uma das características mais marcantes apresentada pela carnaúba e que está diretamente relacionada a situação climática em que ela se encontra, é a presença de um pó cerífero que reveste suas folhas para evitar a perda de água por evapotranspiração (ALLAN et al., 2013).

As palmeiras em geral, são árvores tropicais que possuem tolerância limitada a secas

e a sazonalidade, isso porque em condições de seca extrema e maior sazonalidade, árvores adaptadas perdem as folhas da copa como um mecanismo de proteção. No caso das palmeiras, sua arquitetura, composta por um dossel globuloso e verde, com estruturas altamente transpirantes durante a estação seca, dificultam sua adaptação a climas semiárido. No entanto, com a diversificação dos ecossistemas e a especiação das palmeiras, sugeriram as características apresentadas pelas carnaúbas como mecanismo de defesa as condições do meio, a produção de cera (CÁSSIA-SILVA et al., 2019; EISERHARDT; COUVREUR; BAKER, 2017).

Em relação ao solo de ocorrência da espécie, geralmente são os solos da classe dos Planossolos, que de acordo com o SiBCS (P. 101, 2018):

Compreendem solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B imediatamente subjacente, adensado, geralmente de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta, constituindo, por vezes, um horizonte pã, responsável pela formação de lençol d'água sobreposto (suspenso) e de existência periódica durante o ano.

Como são solos pouco utilizados na agricultura por conta de suas características inerentes, os Planossolos fornecem condições favoráveis para o desenvolvimento dos carnaubais, como volumes hídricos altos durante a quadra chuvosa, o que não causa grandes problemas para o desenvolvimento da árvore (FILHO et al., 2021; QUEIROGA, 2013; SOUSA, 2014).

No sertão nordestino, em decorrência de suas inúmeras utilidades, a carnaúba, também conhecida como árvore da providência, árvore da vida, boi vegetal etc., acumula adjetivos por sua importância socioeconômica e cultural para os povos sertanejos, das raízes ao ápice de sua copa, toda a biomassa é utilizada para os mais diversos fins (PEREIRA JUNIO et al., 2022).

2.2 EXTRATIVISMO E EXPLORAÇÃO DA [*Copernicia prunifera* (Miller) HE Moore]

Geralmente quando se fala sobre extrativismo, o termo remete a qualquer atividade de extração de recursos naturais de origem mineral, animal ou vegetal (HOMMA, 2014). Historicamente, o extrativismo é tido como atividade humana mais antiga de todas, antecedendo até mesmo a agricultura (ALBUQUERQUE; GONÇALVES-SOUZA, 2022; ALBUQUERQUE; MELO, 2018)

Sua importância para os aspectos evolutivos da humanidade, é inquestionável. A exploração dos recursos naturais como atividade de subsistência sempre empregará julgamentos positivos entre a inter-relação do homem e o meio natural. Porém, com a modernização da humanidade, tecnologias surgiram, o que demandou uma maior frequência de extração e desbalanço com o equilíbrio natural de regeneração, põe em questão a positividade

de algumas atividades extrativistas, principalmente pelos impactos causados (HOMMA, 2014; ZÁRATE-RUEDA; BELTRÁN-VILLAMIZAR; MURALLAS-SÁNCHEZ, 2022).

Em meio a inúmeras práticas com impactos negativos, existem atividades que possui uma relação mais positiva com o ambiente natural, podendo ser ainda consideradas atividades de baixo impacto e/ou atividades mais sustentáveis, como é o caso das atividades de extração de alguns produtos não-madeireiros (EVANGELISTA, 2021; RIVERA ANDÍA; VINDAL ØDEGAARD, 2019; WICKENS, 1991).

Vale ressaltar que os serviços ecossistêmicos das comunidades vegetais e as interações entre seres humanos e espécies arbóreas, são representadas pelo tipo de uso, manejo e os efeitos ambientais dessas inter-relações locais e/ou mundiais (AFONSO, 2021; ALBUQUERQUE; GONÇALVES-SOUZA, 2022; EVANGELISTA, 2021).

A exploração de recursos vegetais oriundos da carnaúba, inclui diversos produtos, dentre eles o pó cerífero. Seu uso remonta ao XVII para a produção de velas, mas somente a partir do século XIX que foi descoberto seus outros usos, e com isso foi intensificado o extrativismo, o que impactou as atividades agroindustriais e comerciais e isso foi de grande importância econômica para o Ceará (D'alva, 2004). A importância econômica e social da exploração da carnaúba é observada atualmente. Dados publicados pelo IBGE em 2020, evidenciam o impacto do extrativismo da carnaúba, com produção total 1,7 mil toneladas e valor de produção de R\$ 235,2 milhões.

Os usos do pó cerífero da carnaúba são diversos, dentre estes na indústria de alimentos (DE FREITAS et al., 2019), na indústria farmacêutica e na indústria de cosméticos (SILVA et al., 2021). Por apresentar diversos usos, a exploração dessa planta tem crescido, conforme destacado anteriormente, isso tem impactos sociais e ambientais. Assim, é necessário considerar a importância do manejo adequado dos carnaubais nativos, e aspectos como proteção e preservação desses ambientes. O que é possível por meio da condução de estudos voltados para aspectos de manejo e cuidados com as áreas nativas em exploração.

2.3 MANEJO DOS CARNAÚBAIS NATIVOS

A terminologia “Carnaubais Nativos” faz referência a ocorrência e distribuição da espécie na região nordestina, possuindo relação direta com o tipo de manejo adotado. Sendo uma das espécies que compõem florestas tropicais, assim como os demais representantes da família Arecaceae, a *Copernicia prunifera* é comumente encontrada em condições de ocorrência natural. Com exceção de algumas tentativas de plantio, a predominância do uso das carnaúbas se dá por intermédio de carnaubais nativos com distribuição geográfica conhecida

(BRAGA, 2001; D'ALVA, 2004; DE SOUSA et al., 2015; EVANGELISTA-VALE et al., 2021).

O manejo empregado nos carnaubais nativos, essencialmente na atividade de maior impacto social e econômico, a extração do pó cerífero, consiste basicamente na coleta das folhas da árvore, secagem ao sol, bateção e obtenção do pó (CÂMARA SETORIAL DA CARNAÚBA, 2009).

A coleta consiste em corte de todas as folhas que compõe a copa da árvore, que na média de um indivíduo adulto, pode variar de 35 a 40 folhas, sendo 28 a 30 folhas maduras e 7 ou 8 novas. Apenas um ou dois brotos mais novos são mantidos nas plantas. (D'ALVA, 2004; CÂMARA SETORIAL DA CARNAÚBA, 2009; QUEIROGA, 2017, 2013).

O corte é realizado por intermédio de uma ferramenta simples, manuseada por um profissional conhecido por vareiro, a ferramenta consiste em uma lâmina (foice) que é fixada em uma das extremidades de uma vara de bambu. Em seguida ao corte, outro profissional realiza a limpeza, que é a retirada de parte do pecíolo que foi decepado junto a palha, permanecendo como parte da serrapilheira do ecossistema. Após a limpeza, feixes de 25 palhas são montados para serem retirados do carnaubal e levados para os locais de secagem.

Segundo Natarajan (2022), os avanços tecnológicos do século XXI são marcados por acesso à informação e uma crescente preocupação com as formas de desenvolvimento e atividades sustentáveis. No entanto, pouco se evoluiu em tecnologia e inovação no manejo de carnaubais nativos, exceto por alguns implementos associados ao beneficiamento do pó, o manejo é basicamente o mesmo desde o século XIX (D'ALVA, 2004),.

Em estudos mais atuais, considerando os aspectos associados ao manejo de carnaubais e beneficiamento do pó, alguns poucos implementos tecnológicos, como o uso de mecanização para o processo físico de retirada do pó das folhas, a participação industrial mais robusta na produção e refino da cera, são relatados como alguns pontos em que se avançou em questões tecnológicas (ALLAN et al., 2013; BRASIL, 2012; QUEIROGA, 2017; SOUSA et al., 2015). Como a atividade não requer uma qualificação de mão-de-obra mais exigente e tem caráter de temporário, gerando empregos por um período de no máximo 5 meses no ano, a mecanização é incipiente (CARVALHO; GOMES, 2009).

Considerando a adoção de um manejo mais preocupado com a preservação desta comunidade vegetal, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e a Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo (SDC), em uma publicação intitulada “Série: Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável orgânico” em 2012, estabeleceu diretrizes técnicas para adoção de boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável orgânico da palmeira carnaúba. As diretrizes foram dispostas seguindo 05 etapas

consideradas essenciais a serem adotadas para um manejo sustentável.

As etapas foram definidas como: Etapa 01 – Diagnóstico, que conta inicialmente com a localização e caracterização das áreas de carnaubais, seguido pelo indicativo de produção; 02 – Coleta, dividindo-se entre Planejamento da coleta e Ferramentas e segurança operacional; 03 - Pós-Coleta, que consiste em separação das palhas, transporte, descrição dos métodos de secagem, Beneficiamento/Batidão e Pré-armazenamento; Na etapa 04 - Manutenção e proteção dos carnaubais, considera-se necessário os tratamentos silviculturais para carnaubais nativos; E por último, na etapa 05, monitoramento, o objetivo é realizar o monitoramento da produção (BRASIL; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2012).

Diante disso e do Decreto-Lei nº 27.413, de 30.03.2004, Art. 1º instituiu a carnaúba como símbolo do Estado do Ceará. No Art. 2 Ficam, a derrubada e o corte da árvore Carnaúba, condicionados à autorização dos órgãos e entidades estaduais competentes (CEARÁ, 2004). A lei formaliza a ideia de importância do manejo sustentável e da preservação desse recurso natural.

2.4 CICLO GLOBAL DE CARBONO

Na etimologia da palavra, carbono vem do latim *carbo*, que significa carvão. É o sexto átomo mais abundante do planeta, está presente na estrutura das mais diversas moléculas que compõem a matéria. Considerado um dos elementos mais importante para a humanidade, a base da vida. O carbono, durante o tempo geológico de formação da terra, teve um papel de extrema importância para a vida como conhecemos hoje. O dióxido de carbono e provavelmente o metano, foram responsáveis pela regulação de temperatura da terra (ATREYA; POLLACK; MATTHEWS, 1989; LONG, 1998; WHITE, 2020).

A complexidade da distribuição do carbono está intimamente ligada a variedade e diversidade de formas as quais sua configuração eletrônica pode apresentar. Desde ligações covalentes, preferencialmente com oxigênio, hidrogênio e outros átomos do próprio carbono, permitindo uma gama de compostos que dispõe de sua presença estrutural (KARHU, 1998; WHITE, 2020).

Mediante a compreensão sobre aspectos físico-químicos do carbono, uma das vertentes mais estudadas é o Ciclo do Carbono, termo que remete a sua transição em várias formas dentre os reservatórios biogeoquímicos da terra. Os reservatórios podem ser divididos em: Oceanos, Atmosfera, Biosfera terrestre e os solos (MYROLD, 1999; TRANS, 1998).

2.4.1 SEQUESTRO DE CARBONO

O sequestro de carbono é o termo utilizado para referir-se à absorção e fixação do dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera, tendo como principal destino de reservatório biogeoquímico, o solo. Como átomo de composição de moléculas orgânicas, o carbono participa ativamente como um dos elementos essenciais em processos bioquímicos que ocorrem dentro das plantas e animais. A fotossíntese é a principal via metabólica em que o carbono atmosférico é absorvido e direcionado a constituição de compostos orgânicos para posteriormente chegar ao solo (CARVALHO et al., 2010; HEINZE; MEYER; GORIS, 2018; KELLER et al., 2018; LAL, 2002; LE QUÉRÉ et al., 2016).

Dentre os reservatórios biogeoquímicos globais, o solo é o maior reservatório de carbono em sua forma orgânica, isso se dá pela composição da Matéria Orgânica do Solo (MOS) (CONCEIÇÃO; AMADO; MIELNICZUK, 2005; CUNHA; MENDES; GIONGO, 2015) onde mecanismos de estabilização podem manter o carbono por séculos. A MOS é composta por complexas moléculas sobrepostas com grupos químicos funcionais e não funcionais, em algumas literaturas, apesar de contestações, considera-se que 58% da MOS é constituída por C (PRIBYL, 2010). Nesse sentido, inúmeros estudos têm buscado contribuir com a investigação sobre a relação carbono-solo-atmosfera (HAN et al., 2017; NAYAK et al., 2019; PAUSTIAN, 2014; TSCHAKERT; TAPPAN, 2004).

O último relatório publicado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), apresenta informações alarmantes sobre as questões climáticas em decorrência da emissão de Gases do Efeito Estufa (GEEs). O C, juntamente com outros gases da atmosfera possuem capacidade de retenção de energia da radiação solar, proporcionando com que a temperatura média na Terra seja mais alta que na ausência desses gases. Esse fenômeno denominado efeito estufa proporciona a manutenção da temperatura na Terra em níveis adequados para a sobrevivência das espécies. No entanto, o maior acúmulo desses gases na atmosfera intensifica o efeito estufa, ocasionando desequilíbrio de temperatura. A evolução das emissões de C a partir da revolução industrial e acúmulo na atmosfera, ocasionaram esse desequilíbrio, resultando no fenômeno denominado aquecimento global, onde é relatado aumento de 1,5 °C na temperatura global desde o período pré-industrial (IPCC, 2022; LIMA, 2008; LONG, 1998; SANTOS, 1990; TIAN, 2022; WHITE, 2020).

Nesse sentido, ao considerarmos o sequestro ou fixação de carbono, outra vertente para estudos, são os locais em que esse carbono ficará sequestrado ou armazenado. Vimos anteriormente que existem os reservatórios biogeoquímicos, locais do mundo em que o carbono

pode ser fixado, sendo definições abrangentes, é necessário compreender as especificidades de cada reservatório. Considerar suas capacidades e limitações, buscar as formas ou manejos mais adequados a serem executados. Em exemplo, as florestas representam os maiores depósitos naturais de acúmulo de carbono, entre biomassa e solo (JOSHI et al., 2021).

Atualmente, as condições de mudanças climáticas e os desastres ambientais decorrentes disso, são a principal preocupação global. Em contrapartida, as florestas e o solo desempenham um papel essencial na regulação e sequestro do CO₂ atmosférico. A estimativa dos estoques de C em diferentes comunidades vegetais e o solo sobre influência, permitem a tomada de decisões mais coerentes e adequadas no manejo do carbono (ALI et al., 2020; BRACK, 2019; JOSHI et al., 2021).

2.5 RELAÇÃO DO MANEJO DO SOLO E PLANTAS COM SEQUESTRO DE CARBONO

Há algumas décadas a ascensão do assunto “Carbono Orgânico do Solo” tem tomado proporções mundiais, deixou de ser assunto limitado à área de conhecimento ligada à agricultura e à própria Ciência do Solo. Com os efeitos do aquecimento global e as mudanças climáticas como principal consequência, o Carbono Orgânico do Solo (COS) como componente expressivo nos efeitos naturais e antrópicos sobre a climatologia global, tona-se objeto de pesquisa para especialistas de diversas áreas do conhecimento (FAO; ITPS, 2021; JOSHI et al., 2021).

A preocupação com a sustentabilidade da sociedade atual e gerações futuras, a preservação dos sistemas, que assim como o solo, prestam serviços ecossistêmicos de grande impacto, tem buscado ampliar a margem de conhecimentos científicos sobre as relações do COS com os emissores e sumidouros de C na biosfera terrestre (ELLIS et al., 2013; SANDERMAN; HENGL; FISKE, 2017).

O solo como um sistema aberto e dinâmico, é um depósito em potencial de carbono orgânico (CO). Como uma das partes sólidas mais reativa que compõe esse sistema, a MOS é a principal referência quando se fala sobre CO no solo. Dentre inúmeros outros elementos que compõem a MOS, o CO é predominantemente encontrado em todos os compartimentos da MOS, desde a serrapilheira, Matéria Orgânica Particulada (MOP) até o húmus, Matéria Orgânica humificada que se divide em Ácidos Húmicos, Ácidos Fúlvicos e Húminas (ANANDAKUMAR et al., 2022; LAL, 2018; SANDERMAN; HENGL; FISKE, 2017).

O ponto principal necessário para compreender e usufruir das relações do solo como um depósito de CO, está em compreender os efeitos de uso e manejo da terra. O manejo atrelado a práticas conservacionistas, possui potencial de manter ou até mesmo aumentar os estoques de

COS. Essa relação de uso da terra e manejo do solo, considerando formas mais sustentáveis e entendendo-o como um recurso natural não renovável, é reconhecido como um benefício na mitigação e adaptação às Mudanças Climáticas (FAO; ITPS, 2021).

Apesar de algumas práticas serem conhecidas pelo favorecimento da manutenção e aumento de COS, os resultados de cada atividade dependem de fatores limitantes como o próprio clima, a implementação e o tipo de solo. Para tanto, antecedendo a adoção da prática de manejo, o contexto específico deve ser considerado como principal parâmetro que definirá o manejo adequado do solo (BAYER et al., 2018).

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação FAO, junto ao Painel Técnico Intergovernamental sobre Solos ITPS, recentemente, publicaram um manual intitulado “Recarbonizando solos globais - Um manual técnico de práticas de manejo recomendadas” contendo 6 volumes. O manual surge a partir da urgência de informações sobre o COS, discutindo diretamente práticas de manejo que refletem no comportamento dos estoques de carbono no solo. Este manual inclui 49 práticas disponíveis para Cultivo da Terra, Pastagens, Pastagens Plantadas e Sistemas Integrados no volume 03. No volume 05, é possível encontrar 29 práticas considerando a Silvicultura, Zonas Úmidas e Solos Urbanos (FAO; ITPS, 2021).

Todas as práticas descritas no manual podem ser encontradas em uma classificação mais geral, comumente conhecidas como práticas conservacionistas, dividindo-se ainda em práticas conservacionistas Vegetativas, Edáficas e Mecânicas. Essas práticas são indicadas como práticas de prevenção aos fenômenos erosivos, porém elas, assim como apresentadas no manual, possuem uma relação positiva com os níveis de COS (DE MARIA; BERTOL; DRUGOWICH, 2018).

As práticas Vegetativas definem-se pelo seu uso exclusiva da biomassa vegetal para proteção do solo, seja a biomassa vegetal viva ou morta. A cobertura morta, considerada a mais fácil de ser implementada, cordões ou faixas de vegetação permanente, cultivo ou culturas em faixas, dentre outras. Todas envolvem a relação de planta-solo-MOS e conseqüentemente, afetam os níveis de COS (BAYER et al., 2018; DE MARIA; BERTOL; DRUGOWICH, 2018).

As plantas, além de serem consideradas como principal via pela qual o carbono orgânico chega aos compartimentos da MOS. Aspectos como o crescimento, reprodução e abundância das plantas ditam quais os destinos do carbono orgânico no solo, seja na sua relação com a qualidade do solo, retenção de água, disponibilidade de nutrientes, dentre outros (BRONICK; LAL, 2005; CARMI; KRONFELD; MOINESTER, 2019; LAMBERS; CHAPIN; PONS, 2008).

No caso das práticas de caráter edáfico, sua adoção promove benefícios na qualidade

física e química do solo, a promoção dessas qualidades gera resultados favoráveis ao aumento de produção de biomassa e logo o aporte de MO aos solos. Sendo um dos objetivos das práticas edáficas, a manutenção das MOS é de grande importância não só para os atributos do solo, mas para o equilíbrio do COS (DE MARIA; BERTOL; DRUGOWICH, 2018).

Mediante as práticas de manejo empregadas para a melhoria e conservação dos solos, sejam elas Vegetativas ou Edáficas, é possível visualizar o papel que o sequestro de carbono representa para todos os sistemas que compõem a biosfera. Compreender que o manejo de determinados aspectos naturais possui consequências que podem ser favoráveis ou não a fixação de C impõe responsabilidade ambiental na adoção das atividades humanas. Uma vez entendido que qualquer atividade envolvendo o uso da terra, mais especificamente o uso do solo, modificando as quantidades de biomassa vegetal da superfície ou no solo, causa alterações nas concentrações estocada ou emitidas de C para a atmosfera (CHEN et al., 2019; FUNG, 2003; SHIELDS, 2004).

Em suma, sequestro de carbono e os estoques de COS dependem de um fator determinante, o tipo de manejo. Os ciclos que envolvem atmosfera-planta-solo, dependem da variável manejo. O acúmulo de carbono no solo e a tentativa de redução nas emissões de GEEs, impactam nas atividades adotadas pela humanidade, que devem ir de encontro com a adoção de práticas conservacionista e sustentáveis para que se chega na mitigação dos avanços das mudanças climáticas (BRONICK; LAL, 2005; DE MARIA; BERTOL; DRUGOWICH, 2018; FAO; ITPS, 2021).

2.6 MÉTODOS DE ESTUDO DO SEQUESTRO DE CARBONO

A busca por alcançar o equilíbrio nas emissões de GEEs e, principalmente pela ação antrópica, tem gerado comoção global há algumas décadas. Acordos internacionais e políticas públicas mundiais, trazem como pauta central as mudanças climáticas e suas consequências para a humanidade. Acordos como o Acordo de Paris, discutem a mitigação das emissões de GEEs, essencialmente do dióxido de carbono e a preservação de reservatório naturais de carbono (HUMPENÖDER et al., 2020; PERERA et al., 2022).

Para que as metas estabelecidas em acordos e políticas internacionais sejam alcançadas, é necessário compreender os padrões climáticos, bem como os indicadores das mudanças climáticas, como por exemplo os níveis do mar, sistemas de vento, correntes oceânicas, ecologia de animais, pássaros e insetos, vida marinha, corais, ecologia marinha e entre-marés, ecologia de plantas e patógenos (LETCHER, 2021).

Como um sistema natural, no planeta tudo está em conexão, cada fenômeno influencia

e é influenciado por eventos climáticos, eventos esses que são determinados pelos efeitos globais do CO₂, que de longe, é o mais influente nos padrões climáticos e efeito estufa (PERERA et al., 2022).

Considerando o C como elemento de maior peso nas alterações dos padrões climáticos globais, o poder de mensuração tanto das emissões, como dos estoques naturais de C, potencializa a corrida pela mitigação do efeito estufa (GRÜNEBERG et al., 2019; HUMPENÖDER et al., 2020).

Os métodos para a mensuração do sequestro de C são diversos, podendo se dividir em métodos diretos e indiretos, considerando os reservatórios naturais e ambientes de intensa atividade antrópica. Com as diferenças em características físicas, químicas e biológicas, cada reservatório possui especificidades que regem o tipo de método adotado. Além das diferenças entre cada reservatório, ainda dentro dos próprios reservatórios, existem diferenças mais específicas que influenciam no tipo de método (VILLA; BERNAL, 2018).

Dentre as descrições gerais sobre métodos e reservatórios comumente utilizados na quantificação do sequestro de C, o solo, com cerca de $2,0 \times 10^9$ toneladas de C orgânico a uma profundidade de 1 m, representa o reservatório com a maior projeção de estudos sobre o sequestro de carbono em sua forma orgânica (GRÜNEBERG et al., 2019; VILLA; BERNAL, 2018).

Outro reservatório com grande potencial para o sequestro de carbono, são os ecossistemas aquáticos e de zonas costeiras. Alguns estudos fazem referência ao carbono sequestrado nesses ambientes como o “*blue carbono*” ou Carbono Azul, a terminologia se relaciona com o próprio ambiente marítimo e as zonas costeiras (COSTA; SALINAS-DE-LEÓN; ABURTO-OROPEZA, 2019). Esses ambientes estão entre maiores e mais eficientes sumidouros de carbono de longo prazo, resultado de processos biológicos de fixação, com ênfase principalmente nos ambientes costeiros, como os mangues com ampla diversidade vegetal (MACREADIE et al., 2022).

Atualmente, além das discussões sobre os reservatórios biogeoquímicos naturais, pouco mais de uma década atrás, entrou em discussão a utilização de carvões pirolíticos, comumente denominados por biochar ou biocarvão, um material resultado da pirolise de resíduos orgânicos, das mais diversas origens. Consiste na degradação térmica de compostos orgânicos para obtenção de produto com grandes concentrações de carbono. Os estudos sobre o biochar ainda são incipientes, porém promissores no que desrespeito a seu real comportamento como condicionante de solo e seu potencial no sequestro de carbono. Uma vez que, o processo de pirolise confere ao seu C estrutural, uma maior recalcitrância, logo

permanecendo sequestrado no solo por mais tempo (LEHMANN et al., 2011).

Globalmente, a MOS detém as maiores quantidades de C se comparada as quantidades armazenadas em toda a vegetação e atmosfera terrestre. Nesse sentido, a maior quantidade de estudos e métodos utilizados para compreender a dinâmica dos ciclos regionais e globais do carbono, tem se voltado para a compreensão do sistema Solo-Planta, uma vez que a biomassa produzida pelas plantas é a principal via de origem do MOS (LIANG et al., 2019).

Além do compartimento MOS, outra fonte de armazenamento muito utilizada para a compreensão da dinâmica do CO₂, é a biomassa vegetal, tanto a parte superior das plantas como suas raízes.

2.6.1 BIOMASSA E ALOMETRIA

Biomassa é uma das propriedades fundamentais dos ecossistemas, resultado do balanço líquido entre a absorção e emissão de carbono pela respiração das plantas, representa a matéria estrutural vegetal (STUART CHAPIN; MATSON; VITOUSEK, 2012).

A biomassa vegetal é comumente estimada pela amostragem de indivíduos de uma determinada espécie ou forma de crescimento, relacionando sua massa seca com variáveis morfométricas utilizando modelos alométricos. Essa relação é a representação de uma análise dimensional, considerando a relação alométrica entre as dimensões da planta e a massa seca. É preferível que cada espécie possua sua própria equação, porém se não for possível, se considera os níveis de família para uma estimativa mais próxima do real (CONTI et al., 2013).

A quantificação da biomassa vegetal permite uma melhor compreensão sobre os estoques de carbono em florestas e o grau de mitigação das emissões do CO₂. As principais formas para se chegar a essas estimativas são por análises estatísticas e a utilização de sensoriamento remoto. Contudo, esses métodos se direcionaram para a utilização de modelos, as equações alométricas, desempenhando um papel fundamental nas estimativas do C da biomassa florestal (ZHOU et al., 2021).

Cunhado por Huxley e Teissier (1936), o termo “Alometria”, na conceituação mais ampla, designa as alterações entre as dimensões relativas das partes de um organismo, em função do tamanho total. A aplicação da alometria, inicialmente, foi originária dos estudos baseados no tamanho e metabolismo animal, no entanto, essas equações têm se mostrada ferramentas de relevância para quantificação da biomassa vegetal (GAYON, 2000; ZHOU et al., 2021).

Para a aplicação das equações na determinação da biomassa, existem duas variações de método, o método direto (destrutivo) e o método indireto (alometria). No método direto,

efetua-se o corte do indivíduo para medição direta do peso seco e altura. O método indireto, por intermédio das equações alométricas, utiliza os dados obtidos pelo método destrutivo (VIEIRA et al., 2008; ZHOU et al., 2021).

A questão mais importante dentre os métodos, está presente no fato de não ser necessário o corte das árvores, todas as vezes que se desejar obter a biomassa de uma floresta, com os dados obtidos na própria literatura, é possível utilizar o método indireto interferir no ciclo vegetativo da espécie. Na literatura, facilmente podemos encontrar diversos modelos alométricos para inúmeras árvores dicotiledôneas. A escolha das espécies para a determinação das equações remete a sua importância e relação com as ações antrópicas (CONTI et al., 2013; WEISKITTEL et al., 2015).

As palmeiras, família *Arecaceae*, arvores monocotiledôneas, representando uma das famílias mais ecologicamente diversa das florestas tropicais. São amplamente conhecidas pelo seu uso diverso, a família das palmeiras são as plantas mais utilizadas na extração de recursos florestais não-madeireiros. Apesar de sua ampla importância, poucos estudos apresentam relações explícitas de estoques de carbono e dinâmicas das palmeiras (GOODMAN et al., 2013; LEWIS et al., 2020).

Com poucos modelos disponíveis, geralmente utiliza-se modelos de dicotiledôneas para estimar a massa das palmeiras. Nesses modelos, por exemplo, as folhas da palmeira não são consideradas na influência sobre a serrapilheira, embora se saiba que contribuem substancialmente. Alguns outros aspectos como a produção de frutos, também são desconsiderados ou não se enquadram nos modelos (GOODMAN et al., 2013).

A partir da desta inquietação de não existir modelos alométricos mais abrangentes e que consideram as características específicas das palmeiras, Goodman e seus colaboradores (2013), decidiram criar modelos de espécies únicas e em nível de família para palmeiras arborescentes usando uma variedade de variáveis preditoras simples e compostas e formas de modelo. Os autores utilizaram 6 espécies de palmeiras arborescentes mais dominantes na Amazônia - *Iriarteia deltoidea*, *Attalea butyracea*, *Oenocarpus bataua*, *Euterpe precatória*, *Socratea exorrhiza* e *Astrocaryum murumuru* e duas espécies proeminentes em florestas úmidas, *Mauritia flexuosa* e *Mauritiella* spp.

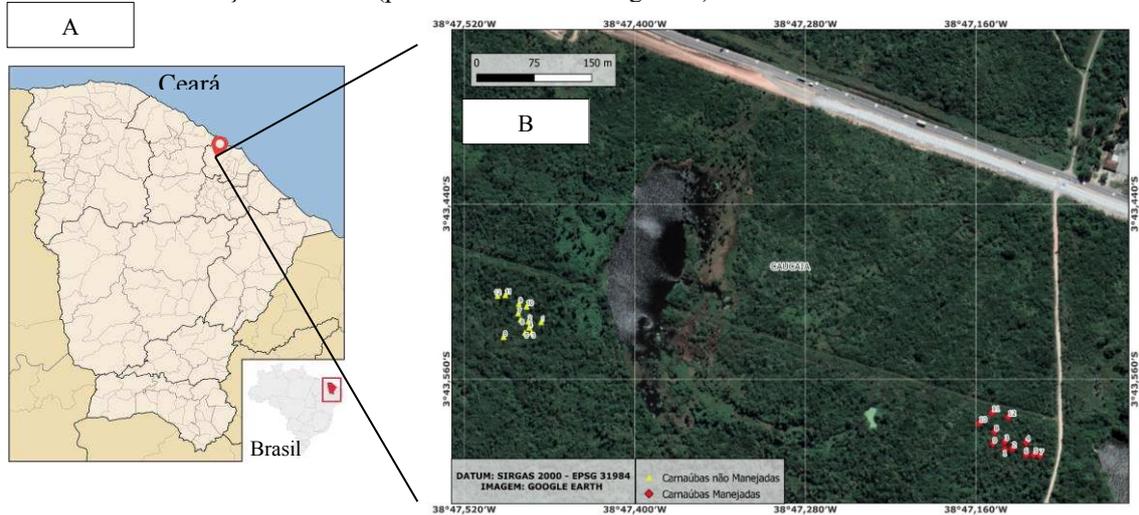
Nas conclusões do estudo, os autores afirmam ser o primeiro estudo a criar um conjunto de dados abrangente de palmeiras arborescentes e equações alométricas de nível familiar para estimar a biomassa acima do solo.

3 METODOLOGIA

3.1 A ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido dentro dos limites da Fazenda Modelo Domingos Pontes, de propriedade da empresa Pontes Indústria de Cera, localizada no município de Caucaia – CE, à 13 km do litoral (figura 1A). Na fazenda, ocorre a extração do pó cerífero dos carnaúbas nativos, sendo exclusivo para a produção de Cera de Carnaúba. O conjunto de palmeiras com e sem histórico de extração de folhas, selecionadas para avaliação, encontram-se em áreas distintas, distanciadas de aproximadamente 600 metros (figura 1B).

Figura 01 – Localização do município de Caucaia no estado do Ceará, Brasília (A). Posição do conjunto de plantas de carnaúba sem histórico de extração de folhas (pontos amarelos na figura B) em relação ao conjunto de plantas com histórico de extração de folhas (pontos vermelhos na figura B).



Fonte: Próprio autor

A classificação climática na área do estudo é Aw': tropical chuvoso quente-úmido (Köppen, 1948) com temperatura média anual variando de 26°C a 28°C, e o período chuvoso identificado entre os meses de janeiro a maio, com pluviometria média anual de 1.243 mm (IPECE, 2012).

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E DEFINIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS

Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com quatro tratamentos e 12 repetições. O primeiro tratamento, serão as carnaúbas com histórico de extração de folhas, denominadas nesse estudo como Carnaúbas Manejadas (CM), o segundo as carnaúbas sem histórico de extração de folhas, denominadas de Carnaúbas Não Manejadas (CNM), Terceiro, Solo Sem influência das Carnaúbas adjacente às carnaúbas Manejadas (SCM) e o quarto, Solo Sem Carnaúba adjacente às carnaúbas Não Manejadas (SCNM). A unidade experimental do

estudo será representada por uma carnaúba e o solo da projeção da copa. As unidades experimentais foram selecionadas em carnaubal nativo em áreas com mesma posição no relevo. As plantas sob manejo extrativistas distam de aproximadamente 600 m das plantas não manejadas, no entanto, para assegurar a comparabilidade das amostras certificou-se que tratam-se de áreas com solos com mesma textura e classificação. Foi aberta uma trincheira em cada unidade de manejo, e o solo de ambas foi classificado como Planossolo Nátrico Órtico Típico – 4º Nível Categórico com predominância de textura franco siltosa.

As amostragens nos tratamentos SCM e SCNM foram realizados à uma distância mínima de 10 m das plantas de carnaúba, para assegurar a ausência da influência da planta.

3.2.1 BREVE HISTORICO DAS CARNAUBAS AMOSTRADAS

As carnaúbas amostradas não possuem um nenhum registro de marco temporal em que se possa ter certeza de que nunca houve manejo ou que esse manejo de retirada de palhas não ocorra por pelo menos a mais de 10 anos, nesse sentido, o que definiu se as carnaúbas foram manejadas ou não, foi a sua fisionomia, o que para quem trabalha e mesmo para que não tem muito contato, é fácil identificar se houve corte ou não das palhas.

Essa diferença ocorre pela disposição dos pecíolos em cada planta, geralmente em plantas que ocorrem o manejo de retirada, os pecíolos caem dando visibilidade ao estipe da palmeira, já nas plantas não manejadas, ou seja, onde não ocorre a retirada das palhas, os pecíolos permanecem por tempo indeterminado, assim como é possível visualizar na figura 2.

Figura 02 – Comparação entre CM e CNM. A – Carnaúba não manejada; B – Carnaúba Manejada



Fonte: Próprio autor

É possível verificar a permanência dos pecíolos do início do estipe até seu ápice nas carnaúba não manejada (2A), o que não é possível verificar na carnaúba manejada (2B).

3.3 AMOSTRAGEM E DETERMINAÇÃO DE NUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO DA FOLHA E DO PECÍOLO

A colheita das folhas da carnaúba, operação denominada de manejo do carnaubal ocorre uma vez por ano, logo após o final da quadra chuvosa. Durante a colheita, quase todo o dossel da palmeira é removido na extração de suas folhas para o beneficiamento do pó cerífero, restando apenas um ou dois brotos apicais para garantir a sobrevivência da palmeira no tratamento CM (DE ALMEILDA et al., 2021b).

Na ocasião da colheita durante o mês de setembro de 2022 foram selecionadas e marcadas todas as palmeiras avaliadas. Após a definição das áreas, foram realizadas as marcações das unidades experimentais na área das CNM. Foram selecionadas carnaúbas com uma média de altura de até 6 m, que possuíssem o estipe ereto o mais linear possível. Para marcar as unidades, utilizou-se de etiquetas plásticas com código numérico para identificação, além da demarcação por coordenadas geográficas.

Após a identificação, foi realizada a colheita nas palmeiras do tratamento CM, permanecendo apenas um broto apical. Para as palmeiras do tratamento CNM, a folha mais jovem da planta foi marcada, sendo que todas as folhas permaneceram na planta.

A marcação da folha mais jovem das unidades amostradas foi realizada com braçadeiras de nylon junto a um recorte de malha colorida, na cor amarela, para facilitar a identificação ao final de 10 meses de experimento (figura 03C).

Figura 03 – A e B - Coleta do pecíolo das palhas de carnaúba; C – Marcação da palha mais nova na área CNM.



Fonte: Próprio autor

Ao final de 10 meses, todas as folhas presentes nas palmeiras do tratamento CM foram colhidas e pesadas em campo e tomada uma amostra para determinação da massa seca em laboratório. Para o tratamento CNM foi realizada a colheita, quantificação, pesagem e amostragem apenas das folhas que se desenvolveram após a folha marcada na implementação do estudo.

Em decorrência de tempo hábil para realização de todos os procedimentos analíticos e discussão de resultados, a coleta das amostras foliares e pecíolos foi realizada no momento de implementação do experimento, em setembro de 2022, neste caso, assume-se que a constituição dos tecidos vegetais é constante ao longo dos anos. Apenas a amostragem e pesagem da biomassa produzida foi realizada ao final de 10 meses.

Para fins de análises, em cada uma das unidades experimentais, foram coletadas 4 folhas com posições distintas no corpo da copa. A copa da planta foi dividida em quatro partes, da mais jovem às mais velha, sendo tomada uma folha de cada uma dessas porções. Para efeitos de viabilidade e fluidez no desenvolvimento da amostragem, foram utilizadas amostras compostas de $\frac{1}{4}$ de quatro folhas selecionadas dentre as coletadas de cada palmeira. A coleta apenas de $\frac{1}{4}$ de cada folha teve como objetivo diminuir o volume de material a ser processado no laboratório e levou em consideração a simetria da folha. Concomitantemente, a parte do pecíolo que foi colhida com cada uma das folhas amostradas, foram coletados para análise (figura 3A e 3B).

3.4 PREPARO DE AMOSTRAS E ANÁLISE DE TECIDOS VEGETAIS

Após a coleta, as folhas e pecíolos foram lavados em água deionizada. A lavagem do material foi realizada com extremo cuidado para que a fina camada que recobre os tecidos vegetais da espécie, não fosse eliminada como impureza, mais conhecido como o pó cerífero (Figura 04). Após a lavagem de todo o material, as amostras foram acondicionadas em saco de papel, identificadas e levadas a estufa de circulação de ar forçada a 60°C até atingir massa constante.

Figura 04 – Lavagem da palha de carnaúba, detalhe para o pó cerífero presente.

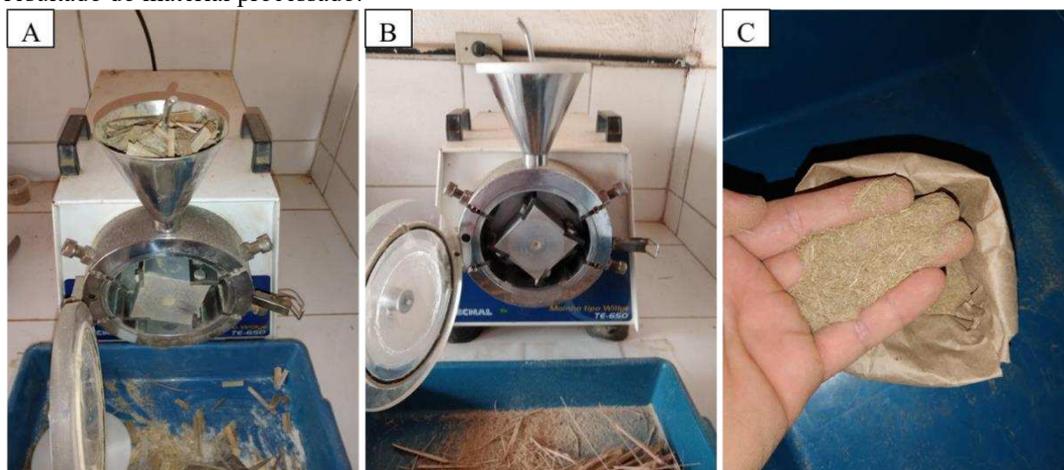


Fonte: Próprio autor

Após secagem o material vegetal (Folha e Pecíolo), foi processado em um moinho tipo *Willye* com facas em aço para obtenção de um material particulado mais fino e homogêneo, preferível para os procedimentos analíticos.

Palha e pecíolo foram triturados separadamente, identificado e acondicionados em potes plásticos hermeticamente fechados impedindo a entrada de umidade (figura 5)

Figura 05 - Passo a passo do processo moagem do material. A) A folhas; (B) Pecíolo e (C) O resultado do material processado.



Fonte: Próprio autor

Carbono orgânico foi determinado pelo método da oxidação da matéria orgânica por via úmida, com dicromato de potássio em meio sulfúrico.

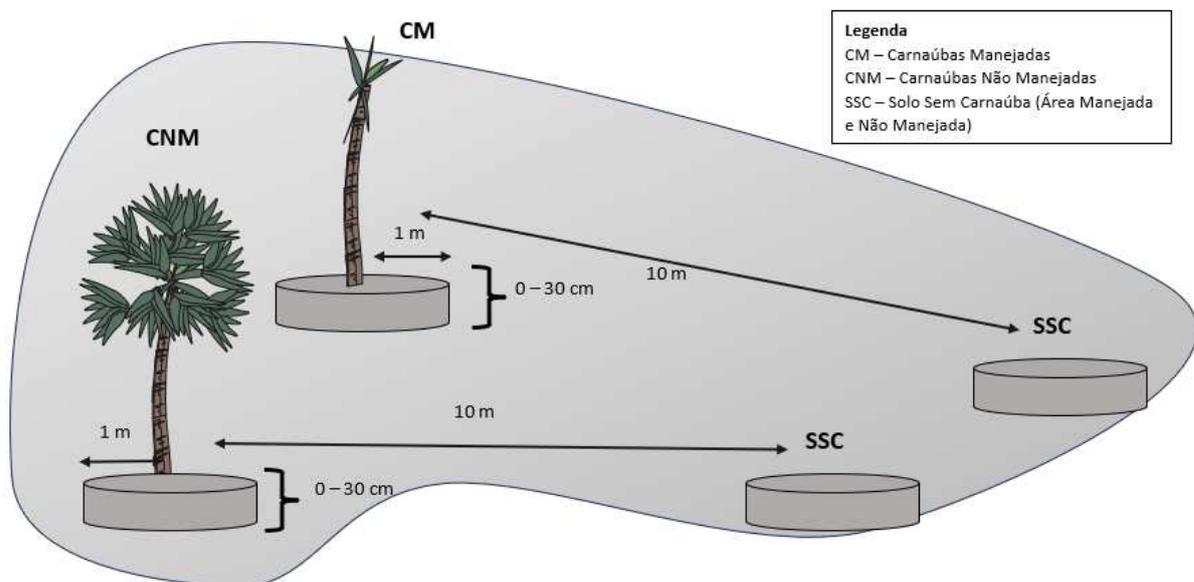
Para determinação do teor de P, K, Ca, Mg, foi utilizada a digestão nitroperclórica em bloco de digestão, do resíduo vegetal. Foram utilizados os métodos de espectrofotometria de absorção atômica, fotometria de chama de emissão, colorimetria de metavanadato e turbimetria de sulfato de bário para determinação do teor de cálcio e magnésio, sódio, potássio e fósforo respectivamente, tal como indicam os procedimentos descritos por Malavolta *et al.*, (1997).

3.5 AMOSTRAGEM DE SOLO

A amostragem de solo foi realizada no mês de setembro e novembro de 2022. Nos tratamentos CM e CNM a amostragem de solo foi realizada dentro área de projeção da copa da carnaúba. Para o tratamento adicional SCM e SCNM foram selecionadas áreas com as mesmas dimensões da projeção da copa das palmeiras, porém sem influência de nenhuma planta (figura 06).

Dentro de cada área foram coletadas 3 subamostras deformadas com trado holandês em pontos equidistantes para compor uma amostra composta. Foram tomadas amostras nas profundidades de 0-10 e 10-30 cm. Também foram coletadas 10 amostras de solos indeformadas nas 0 a 10 cm, utilizando amostrador tipo Uhland, para determinação da densidade do solo, de acordo com as instruções da EMBRAPA (2017).

Figura 06 – Desenho esquemático das delimitações de espaço para as coletas em cada tratamento. Mudar o SSC para SCM e SCNM respectivamente.



Fonte: Próprio autor

3.6 AMOSTRAGEM E DETERMINAÇÃO DA MASSA DE RAIZES

A amostragem de raízes foi realizada dentro da área útil de um metro sob influência da copa das carnaúbas nos tratamentos CM e CNM e na área útil de 1 m de raio sem influência das carnaúbas nos tratamentos SCM e SCNM.

As amostras de solo para análise de raízes foram coletadas com o auxílio de uma sonda de impacto de 100 cm graduada a cada 10 cm e diâmetro interno de 4,5cm nas amostras nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20, e 20 a 30 cm.

As raízes foram separadas do solo por peneiramento com fluxo de água e catação. Após a separação das raízes foram feitos os registros de imagens das raízes distribuídas sobre uma superfície branca. O software Safira foi empregado para determinação do comprimento e área de raízes a partir de imagens. (EMBRAPA, 2009). Em seguida as raízes foram secas em estufa à 65° até massa constante e realizada a pesagem.

3.7 PREPARO DAS AMOSTRAS DE SOLO E ANÁLISES

As amostras deformadas foram secas ao ar, destorroadas com rolo de madeira, passadas em peneira de abertura de malha de 2 mm para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

A determinação da granulometria foi realizada pelo método do densímetro. As análises químicas para determinação das concentrações de nutrientes foram realizadas de acordo com EMBRAPA (2017). As determinações consistiram na medida de pH em água, utilizando phmetro de bancada; os cátions trocáveis Ca e Mg, extraídos por KCl 1 mol. L⁻¹ e quantificados por absorção atômica; o Al⁺³ trocável extraído por KCl 1 mol. L⁻¹ e quantificado por titulação com NaOH 0,025 mol. L⁻¹; Na⁺ e K⁺ extraídos por Mehlich-1 e quantificados por fotometria de emissão em chama. A acidez potencial (H⁺ Al⁺³) será avaliada por extração com acetato de cálcio 0,5 mol. L⁻¹ a pH 7,0, titulando com NaOH 0,025 mol. L⁻¹. O P disponível foi extraído por Mehlich-1 e determinado por colorimetria de metavanadato.

O método oxidação da matéria orgânica do solo com solução de dicromato de potássio em presença de ácido sulfúrico, utilizando como catalisador da oxirredução o calor desprendido na diluição do ácido sulfúrico e titulação do excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr) foi utilizado para determinação do Carbono Orgânico Total.

A densidade do solo foi realizada em amostras indeformadas, utilizando-se o método do anel volumétrico, esse método baseia-se na determinação da massa por pesagem e do volume através da coleta de amostras de solo com estrutura não preservada por meio de um anel de volume interno conhecido.

3.8 DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA DAS CARNAUBAS POR EQUAÇÕES ALOMETRICAS

Apesar de alguns estudos apresentarem alguns modelos alométricos para espécies de palmeiras, a carnaúba, até o presente momento, não possui um modelo a nível de espécie para

determinar a biomassa. Em busca na literatura por modelos alométricos a nível de família e espécie, nenhum registro ofereceu uma relação proximal as características da carnaúba, com exceção dos modelos apresentados por Goodman e seus colaboradores (2013).

Dentre os modelos determinados pelos autores, a equação adotada para determinação da biomassa das carnaúbas no carnaubal nativo do estudo, foi a equação específica determinada para a espécie *Mauritia flexuosa*, a $y = a + bx_1 + cx_2$, substituindo, como equação 2 neste estudo.

Equação 2:

$$\ln AGB = 2.4647 + 1.3777 * (H_{haste}) + 0.8426 * (D)$$

AGB: Biomassa seca acima do solo em Kg; (H_{haste}): Altura do caule em m; (D²): Diâmetro do caule em cm.

Além da equação para determinação da biomassa acima do solo, os autores ainda determinaram uma equação para a quantificação da biomassa abaixo do solo, raízes.

Equação 3:

$$\ln BGB = - 0.3688 + 2.0106 * (H_{haste}) + 0.8426 * (D^2)$$

BGB: Biomassa seca abaixo do solo em Kg; (H_{haste}): Altura do caule em m; (D): Diâmetro do caule em cm.

A medição da circunferência na altura do peito foi realizada com fita métrica e a altura total da planta foi medida com varas de bambu. A vara possuía 5,40 m, quando a carnaúba era maior que a vara, erguia-se a até atingir a altura da planta e aferia a altura do solo até a base da vara (figura 07).

No momento da medição da circunferência, para garantir que somente o estipe seria medido, foi realizado um desbaste da parte do pecíolo que ainda permanecia na planta. Com um auxílio de uma serra com todo cuidado para não causar nenhum dano ao caule da planta.

Figura 07. Coleta de dados biométricos. (A) Desbaste da parte dos pecíolos que ainda permaneciam no tronco; (B) Aferição da circunferência até a altura do peito; (C) e (D) Altura da planta utilizado vara de bambu.



Fonte: Próprio autor

3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

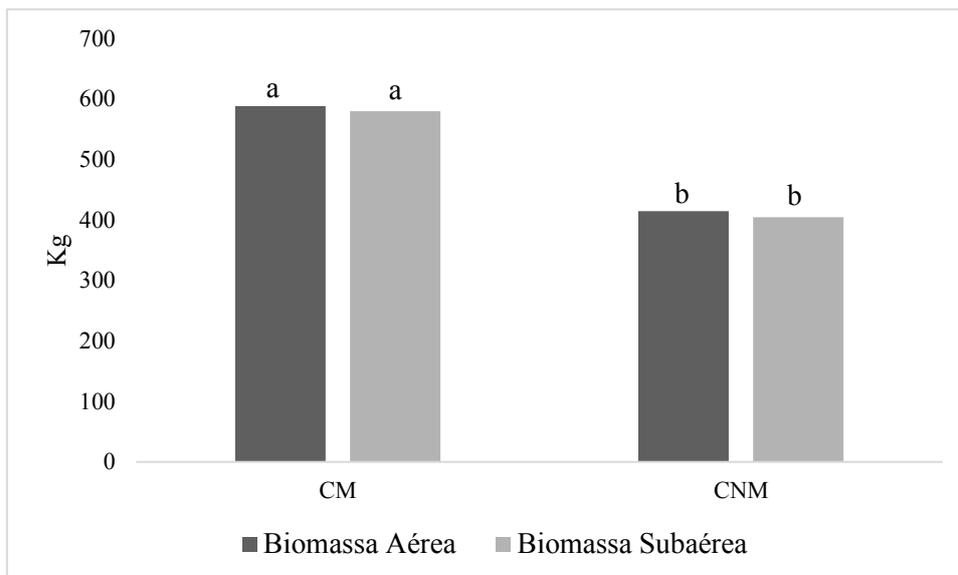
Estatística descritiva (média e desvio padrão) utilizando o R-Studio. Análise de variância, Teste de comparação de médias (Tukey) e testes das pressuposições de homogeneidade das variâncias e distribuição normal dos erros.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2 BIOMASSA DAS CARNAÚBAS, EXPORTAÇÃO DE CARBONO E NUTRIENTES

A seleção das plantas para a implementação do estudo foi realizada com objetivo de uniformização, levando em consideração principalmente a altura, de modo a viabilizar a comparação da produção de biomassa entre as unidades de manejo. No entanto, em média, as carnaúbas da área não manejada (CNM) apresentaram altura de 6,33m e diâmetro de 21,4 cm, enquanto as carnaúbas da área manejada (CM) apresentaram altura média de 6,54 m e diâmetro de 25,7 cm. Assim, a partir da aplicação das equações alométricas, foi estimado que a massa total das plantas considerando raízes e parte aérea foi cerca de 350kg superior nas carnaúbas da área manejada (Gráfico 1).

Gráfico 01 – Biomassa total aérea e Biomassa total no subsolo determinado por equações alométricas.



Fonte: Próprio autor.

Assumimos que essa diferença de massa de plantas não é resultado do manejo, mas sim de diferenças pré-existentes, no entanto, consideramos a possibilidade de a altura, diâmetro e biomassa das plantas ter efeito sobre a produção de biomassa pelas plantas. Para testar essa hipótese foram verificadas as correlações entre massa seca de folhas produzidas e número de folhas por planta com diâmetro, altura, biomassa de parte aérea e biomassa de abaixo do solo. Nenhuma das correlações apresentou valor do coeficiente de correlação (r) superior à 0,1, portanto, rejeitamos a hipótese, tornando viável a comparação da biomassa de folhas produzidas pelas plantas, sem a necessidade de realizar ajustes.

A biomassa de folhas produzidas ao longo dos 10 meses do estudo foi superior no tratamento CM (5,7 kg/planta) em comparação ao tratamento não manejado (5,4 kg/planta), confirmando as observações realizadas previamente por pessoas envolvidas no manejo da carnaúba e que deram origem à hipótese do presente estudo. O aumento da produção de biomassa deveu-se ao aumento do número médio de folhas produzidas por planta (27,7 para CNM e 30,9 para CM), tendo em vista que a massa por folha produzidas foi semelhante para ambos os tratamentos. No decorrer de 10 meses de estudo, a exportação de C via extrativismo das folhas foi equivalente à 2,1 kg de carbono por planta se considerarmos a concentração média de carbono nas folhas. Deve-se levar em consideração que o carbono sequestrado no material vegetal é exportado para o processamento e em raras ocasiões retorna para o sistema original. No entanto, a maior parte do carbono presente nas folhas exportadas é transformado no subproduto da produção de cera, popularmente conhecido como bagana de carnaúba. Sendo que o destino mais comum para a bagana é o uso como adubo orgânico proporcionando

condições para a manutenção do carbono na forma orgânica em outros sistemas de produção agrícola.

Não foi verificada diferença significativa entre massa seca e diâmetro de raízes nos tratamentos avaliados. Existem estudos que verificam que a poda de árvores estimula o crescimento de raízes assim como a própria produção de biomassa acima do solo. Assim, a retirada das palhas de carnaúbas, pode ser considerada como um tipo de poda que estimula o crescimento de raízes (BUSSI; BRUCHOU; LESCOURRET, 2011; KATHIRESAN et al., 2019; SOUZA et al., 2006). Foi observado que carnaúbas sob manejo extrativista (CM) apresentaram maior área superficial, na profundidade de 10 a 20 cm em relação ao tratamento não manejado (Tabela 01). Também foi observado maior volume de raízes na profundidade de 10 a 20 cm no tratamento CM, comprovando que a poda das folhas possui influência positiva sobre algumas variáveis relacionadas ao crescimento de raízes.

Tabela – 01 – Área superficial e Volume de raízes.

Área superficial			
Trat.	0 – 10 cm	10 – 20 cm	20 – 30 cm
mm²/300cm³ de solo			
CM	33,873a	30,872a	14,828a
CNM	32,936a	33,223a	11,897bc
SCM	32,986a	33,730a	9,893c
SCNM	32,774a	32,204a	12,828ab

Volume de raízes			
Trat.	0 – 10 cm	10 – 20 cm	20 – 30 cm
mm³/300cm³ de solo			
CM	11.67a	6.26a	3.58b
CNM	11.04a	3.95b	3.59b
SCM	07.84b	6.59a	3.38b
SCNM	07.93b	4.94ab	5.18a

Fonte: Próprio autor.

Embora não tenham ocorrido diferenças consistentes na área e volume de raízes entre tratamentos sob influência das plantas, em comparação com os tratamentos sem influência das plantas nas profundidades abaixo de 10 cm, na camada de 0 a 10 cm de profundidade, essa diferença foi evidente. Observa-se que o volume de raízes na profundidade 0 a 10 cm sob projeção da copa foi superior aos tratamentos sem a influência das plantas de carnaúba, sendo

que os tratamentos sem influência das carnaúbas não diferiram entre si. Isso evidencia que as carnaúbas possuem maior volume de raízes na camada superficial que as demais plantas nativas do sistema e que o manejo não está ocasionando alterações na distribuição de raízes da flora local.

Não foi realizado nenhum levantamento florístico das demais espécies presente no ecossistema, mas em observação da área, é possível identificar espécies da família das Fabaceae como a Jurema branca (*Lachesiodendron viridiflorum* (Kunth) P.G.Ribeiro et al.), Jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.), o sabiá (*Mimosa candollei* R.Grether), a catingueira (*Cenostigma bracteosum* (Tul.) E. Cagnon & G.P. Lewis), da família Bignoniaceae o ipê roxo (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) da família Euphorbiaceae o Marmeleiro (*Croton adenocalyx* Baill.), família Combretaceae o mofumbo (*Combretum leprosum* Mart.), dentre as espécies que estão presente no carnaubal nativo, essas apresentam predominância, além de uma que é considerada invasora e causa grandes problemas as carnaúbas a popularmente conhecida boca-de-leão (*Cryptostegia grandiflora* Roxb. ex R. Br.) (LOIOLA et al., 2021).

Em relação a carnaúba, a literatura geral sobre as palmeiras discute que, na profundidade de 30 cm, ocorre um maior adensamento das raízes (DASSOU et al., 2021; HODEL; PITTENGER; DOWNER, 2005; ISHA et al., 2020; JOURDAN; REY, 1997; WIN KENT et al., 2023; YOUJI et al., 2002), o que não foi verificado em nenhuma das variáveis relacionadas às raízes analisadas no presente estudo.

As concentrações de nutrientes nos tecidos vegetais não apresentaram diferenças entre si (tabela 2). A partir das concentrações de nutrientes nas folhas calculou-se a exportação de nutrientes devido ao manejo extrativista, que revelou a exportação de 56,1 g/planta de K^+ , 8,7 g/planta de Mg^{2+} , 5,6 g/planta de Ca^{2+} , 4,2 g/planta de P e 2,1 g/planta de Na^+ .

Tabela 02 – Nutrientes do tecido vegetal. Médias seguidas de letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Trat.		Ca^{+2}	Mg^{+2}	P	Na^+	K^+
g/kg						
Pecíolo	CM	0,614a	1,209a	0,204a	1,477a	15,197a
	CNM	0,550a	1,293a	0,330a	0,993a	14,863a
Folha	CM	0,920a	1,222b	0,890a	0,369a	9,798a
	CNM	0,927a	1,442a	0,708b	0,345a	9,353a

Fonte: Próprio autor.

4.3 FERTILIDADE DO SOLO

Embora a seleção das áreas para a realização das avaliações tenha sido realizada levando em consideração aspectos relacionados à textura e classificação do solo com propósito de que não houvesse diferenças pré-existentes entre a área manejada e não manejada, os tratamentos CNM e SCNM apresentaram teores das bases Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} muito superiores aos tratamentos CM e SCM (Tabela 3). Tendo em vista que essa diferença inclui os tratamentos sem influência das plantas, consideramos que os teores dessas bases eram naturalmente superiores na área não manejada e, portanto, esse efeito não foi atribuído ao manejo. Esta constatação foi comprovada pela classificação do solo feita em trincheiras, onde a caracterização química da área (ANEXO), revelou contrações dessas bases são mais elevadas na área não manejada inclusive em profundidades maiores que 30 cm.

Dessa forma, usamos esses dados apenas para comparar o solo com e sem influência da planta de carnaúba, dentro de uma mesma unidade de manejo. Sendo que a presença das plantas não ocasionou alterações nos teores de Na^+ , Ca e Mg, independentemente da unidade de manejo.

Dentro da unidade manejada, também não houve diferença entre os valores de pH entre o solo com e sem influência das plantas em ambas as profundidades avaliadas. Já o pH do solo sem influência das plantas na unidade não manejada (tratamento SCNM) apresentou o pH mais elevando em relação ao tratamento com influência das plantas de carnaúba na mesma unidade de manejo na profundidade de 0 a 10 cm. Na profundidade de 10 a 30 cm, essa diferença não foi observada.

Tabela 03 – pH e teores de nutrientes na profundidade de 0-10 cm. SCNM – Solo Sem Carnaúba Não Manejado; CNM – Carnaúba Não Manejada; SCM – Solo Sem Carnaúba Manejada; CM – Carnaúba Manejada. Médias seguidas de letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

	pH	P	K^+	Na^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	$\text{H}+\text{Al}^{+3}$	Al^{+3}
Trat.			mg/kg		mmolc/dm ³			
CM	4,8b	7.494a	2.793a	0.856b	3.481b	3.678b	4.345ab	0.608b
CNM	4,9b	5.830a	3.204a	1.375a	7.117a	9.734a	4.840 a	0.616b
SCM	4,8b	5.530a	1.979b	0.809b	3.667b	3.293b	4.262ab	0.966a
SCNM	5,1a	6.844a	1.720b	1.047b	7.965a	8.242a	3.300 b	0,400 b

Fonte: Próprio autor.

Não houve diferenças nos teores de P no solo nos tratamentos e profundidades avaliadas. Foi verificado que os teores de K foram superiores no solo sob influência das plantas independentemente da unidade de manejo (tratamentos CNM e CM) em relação aos tratamentos

sem influência das plantas de carnaúba, em ambas as profundidades. O maior teor de K sob a copa das plantas de carnaúba pode estar relacionado com as concentrações do nutriente na cera de carnaúba e tecido vegetal (Tabela 4), uma vez que as concentrações de K^+ no pó cerífero são elevadas e superiores aos demais nutrientes. Em uma caracterização dos tipos de cera, que se dividem em T1, T3 e T4, a caracterização química inorgânica encontrou altos valores de K^+ nos tipos 3 e 4 da cera (ALLAN et al., 2013).

O acúmulo de K^+ na região proximal da carnaúba está relacionada diretamente com alguns aspectos que podem influenciar esse movimento do elemento presente no pó cerífero para o solo adjacente. Provavelmente as plantas extraem K do solo de uma área mais ampla que a avaliada, concentrando o nutriente no pó cerífero, e parte do pó cerífero pode ser pluvilixivado. É importante destacar que esse efeito ocorreu independentemente da colheita das folhas, evidenciando que o manejo comercial das carnaúbas não afeta o processo biogeoquímico de acúmulo de K no solo da base da carnaúba. Também não foram observadas diferenças nas concentrações do nutriente nos tecidos vegetais das plantas manejadas em relação às plantas não manejadas (Tabela 2).

Tabela 04 – pH e teores de nutrientes na profundidade de 10-30 cm. SCNM – Solo Sem Carnaúba Não Manejado; CNM – Solo Próximo Carnaúba Não Manejada; SCM – Solo Sem Carnaúba Manejada; CM – Solo Próximo a Carnaúba Manejada. Médias seguidas de letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Trat.	pH	P	K^+	Na^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	$H+Al^{+3}$	Al^{+3}
		mg/kg			mmolc/dm ³			
CM	4,8b	5.385a	2.491ab	0.910b	2.920b	3.357b	3.423a	0.683b
CNM	5,0ab	4.465a	2.587a	1.693a	6.893a	9.789a	3.203a	0,575b
SCM	4,8b	4.196a	1.764bc	0.916b	3.256b	3.185b	3.863a	1,225a
SCNM	5,1a	5.292a	1.447c	1.369a	7.358a	8.652a	2.708a	0,425b

Fonte: Próprio autor.

Embora ocorra exportação de nutrientes da área das carnaúbas manejadas, a fertilidade do solo não foi afetada negativamente pela exploração extrativista. Há semelhança nas concentrações do K^+ entre as unidades de manejo, mesmo que, dentre os nutrientes determinados, o K foi o nutriente exportado em maior quantidade.

4.4 CARBONO NO SOLO

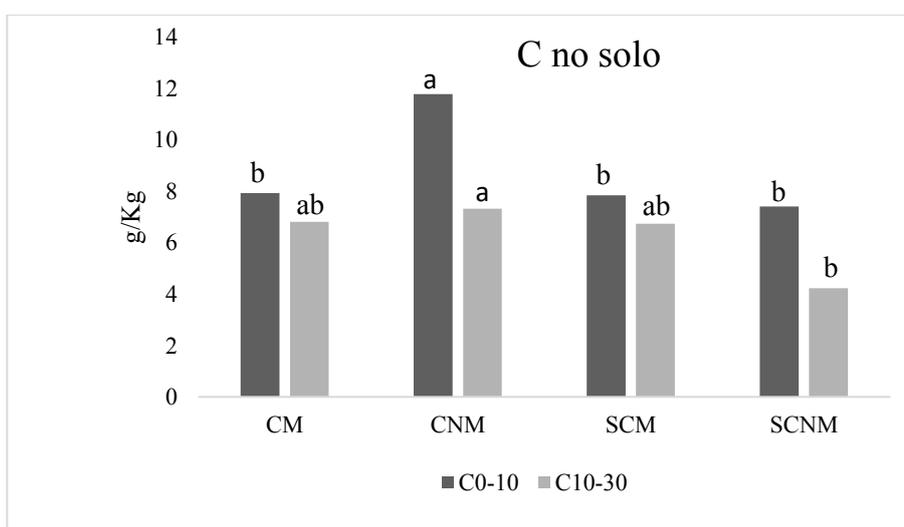
O solo sob a copa das plantas de carnaúba não manejadas (CNM) apresentou maior concentração de carbono orgânico que os demais tratamentos na camada de 0-10 cm de

profundidade. No entanto o solo sem influência das carnaúbas na área não manejada (SCNM) apresentou menores teores de carbono na profundidade de 10-30 cm. No tratamento na profundidade de 0-10cm a concentração de CO chegou a 11,7 g/kg (Gráfico 01). De acordo com a literatura, considerando o contexto de semiárido, a ordem dos Planossolos em conjunto aos Neossolos Regolíticos, apresentam menores teores de Carbono Orgânico Total que os encontrados no presente estudo, apresentando teores iguais ou inferiores a 7,5 g/kg (CRISTINA et al., 2018; GIONGO et al., 2011; JACOMINE; ALMEIDA; MEDEIROS, 1973; JACOMINE; CAVALCANTI; SILVA, 1979).

Na literatura, poucos estudos apresentam a relação entre a ordem dos Planossolos e o ecossistema de carnaubal, comumente encontra-se algumas afirmações sobre encontrar essas plantas em vales de rios, integrando a fitofisionomia da mata ciliar como por exemplo, em (COSTA; OLIVEIRA, 2019; D'ALVA, 2004; LUIS et al., 2017; PACHECO et al., 2008), apesar de apresentarem alguns aspectos sobre o assunto, nenhum aborda a dinâmica do C nesses sistemas.

Considerando a quantidade de carbono encontrada nos sistemas estudados, podemos assumir uma relação positiva entre o Planossolo e o acúmulo de carbono oriundo da biomassa da carnaúba, uma vez que esses solos apresentam, normalmente quantidades inferiores de COT.

Gráfico 02 – Carbono orgânico do solo 0-10 e 10-30.



Fonte: Próprio autor.

A maior concentração de CO no tratamento CNM está relacionado com o aporte de matéria orgânica devido à queda natural das folhas sob a copa das plantas de Carnaúba. A Carnaúba em seu estado natural, sem interferência antrópica, acumula biomassa de folha e pecíolo em proximidade, o que é possível de se observar no campo. Esse estado de preservação

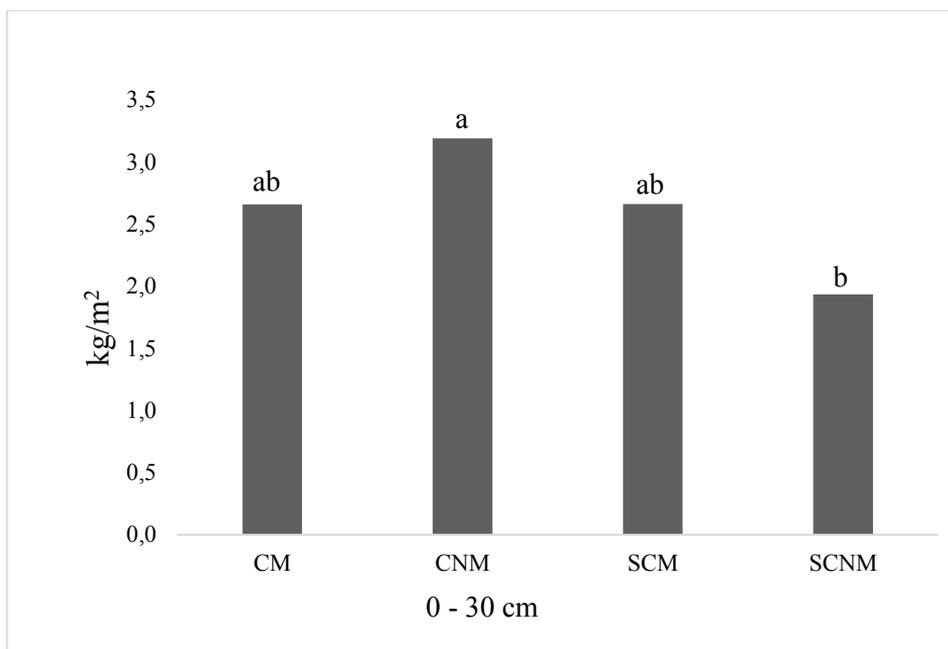
implica, conseqüentemente no aumento de CO no solo próximo ao tronco do indivíduo. O resultado está condizente com o que se espera de uma área que está em estado de preservação, uma vez que, o CO aumenta em decorrência do aporte de biomassa sem que haja interferência humana no meio (MENEZES et al., 2012; VAN DER SANDE et al., 2017).

Embora tenha ocorrido aumento significativo da concentração de C no solo do tratamento CNM em relação ao CM na camada de 0-10 cm de profundidade, esses mesmos tratamentos não apresentaram diferenças entre si quando se considera o estoque de carbono na camada de 0-30 cm de profundidade. Outro ponto que chama a atenção é que o solo sem a interferência das carnaúbas apresentou menor estoque de carbono que o solo sob a copa das plantas no tratamento não manejado. Essa diferença entre solo com e sem influência das plantas não foi evidenciada na área manejada. Dessa forma, a operação de colheita, aparentemente causa uma melhor distribuição de C na área total.

A operação de colheita envolve poda e roçada parcial de outras espécies na área fora da projeção da copa das carnaúbas para facilitar o acesso e transporte. Assim, podemos levantar a hipótese de que essas operações influenciam na deposição de material orgânico sobre a superfície e ao mesmo tempo pode estimular o crescimento e produção de biomassa das outras plantas do sistema. Assim como a própria influência do pecíolo que permanece no sistema, sendo distribuído sem padrão definido, uma vez que depende de onde ocorrerá o desbaste desse material da palha, o que coincide com uma distribuição mais homogênea na área manejada.

Destacamos ainda, que, a retirada de biomassa pela colheita das folhas é pouco superior que 6 kg por planta, equivalente a aproximadamente 2 kg de C, que é importante para a manutenção do carbono sob a copa, no entanto, essa retirada pode ser compensada por outros processos se considerarmos que a densidade dos carnaubais avaliados é em torno de 100 plantas/ha, resultando em uma exportação de C de aproximadamente 200 kg/ha. Embora não possamos fazer os cálculos precisos, por não sabermos a dimensão exata da influência da planta sobre a concentração de C do solo e devido à grande variabilidade de densidade de plantas nas áreas avaliadas podemos levantar a hipótese de que o estoque de carbono do solo na área manejada é superior à área não manejada. Pois embora o solo sob a copa na área não manejada apresente maior concentração de C, se considerarmos uma densidade de 100 plantas por hectare e a área de influência da planta com 1m de raio, teremos a área sob a projeção da copa representando apenas 3,1% da área total. Tendo em vista que a concentração de C fora da projeção da copa foi superior na área manejada, isso pode resultar em maior estoque de C na área manejada.

Gráfico 03 – Estoque de Carbono orgânico considerando as duas profundidades.



Fonte: Próprio autor.

O estoque de carbono do solo está ligado a alguns aspectos do meio que influenciam diretamente sua concentração no solo. Como a quantidade de biomassa aportada, a macro e microfauna, clima, classe de solo e ação antrópica (DE SOUZA et al., 2022; SOUZA OLIVEIRA; REATTO; LLACER ROIG, 2015). Dentre esses fatores, o aporte de biomassa na projeção da copa foi fundamental para termos maior acúmulo de carbono sob a copa das plantas não manejadas. No entanto, o manejo não foi um fator determinantes capaz de causar grandes diferenças no estoque de carbono entre as áreas talvez este resultado esteja relacionado com o período em que se implementou o manejo na área, estima-se que o carnaubal avaliado esteja sendo manejado por um período de 4 a 5 anos. Em estudos sobre estoque de carbono, as alterações nos estoques de carbonos que são mais relevantes ocorrem em períodos acima de 10 anos, considerando o tipo de manejo (CRISTINA et al., 2007; GATTO et al., 2010a; PARRON et al., 2017; SOUZA OLIVEIRA; REATTO; LLACER ROIG, 2015).

O ECO no solo pode ser um indicador de alguns aspectos relacionados ao ambiente, além de características predefinidas, como as edafoclimáticas, o manejo das terras possui forte influência nas quantidades de C armazenadas em um sistema, assim como as propriedades inerentes a classe de solo (COSTA; OLIVEIRA, 2019; GATTO et al., 2010b). A gestão desses sistemas que estocam C está diretamente ligada ao armazenamento de água, fertilidade natural do solo, com o armazenamento de nutrientes, filtragem de resíduos e/ou poluentes da água, biodiversidade de microrganismos é não menos importante, mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (FAO, 2021).

No caso de um ecossistema como o carnaubal nativo¹, há várias relações que podem estar diretamente ligadas a dinâmica do C. Geralmente, são sistemas que alagam durante o período chuvoso, isso já entra como um dos fatores. O alagamento de uma área por determinado período pode ser favorável para o acúmulo de Matéria Orgânica morta (MOS) em vários estágios de decomposição. Esse é um aspecto que pode influenciar a relação, mas nem todo ecossistema de carnaubal passa por alagamentos anualmente, o que também pode ser um outro fator de diferenciação entre os ambientes, assim como a própria ação antrópica, o corte o desmatamento e encendidos florestais (OLIVEIRA FILHO, 2023).

4.5 CARBONO NA PLANTA

Tabela 05 – Média por área da porcentagem de carbono nos tecidos vegetais

Tecido vegetal		
pecíolo	palha	tronco
%		
33,0	38,0	45,0

Fonte: Próprio autor.

O solo é um dos maiores reservatórios de armazenamento de carbono que se conhece, tendo uma capacidade de armazenamento de quatro vezes mais que a biomassa vegetal e podendo chegar quase a três vezes mais que a atmosfera (WATSON, 2001). No entanto, outro importante reservatório de carbono em ecossistemas são as plantas que armazenam carbono principalmente em seus troncos, que são constituídos por estrutura mais rígida e fibrosa, e consequentemente maior concentração de carbono em sua constituição (Tabela 6). Na literatura, pouca informação relaciona as porcentagens de C presente na Carnaúba, percebe-se uma pobreza na produção científica relacionado a temática. Apenas alguns trabalhos abordam as concentrações de carbono de algumas palmeiras, como por exemplo (DE CARVALHO et al., 2014; DE MIRANDA et al., 2012; DEZZEO et al., 2021; GEHRING et al., 2020; MÁLAGA et al., 2021; PRAMUDITA et al., 2022; ZAKARIA et al., 2022), mas nada específico para a

¹ Entende-se como ecossistema de carnaubal nativo a composição florística de plantas de Carnaúba em estado natural em uma dada área de ocorrência.

Carnaúba como o presente estudo. Um estudo semelhante foi apresentado por Medeiros et al. (2023), mas o foco não foram as concentrações de carbono.

O solo pode ser um dos maiores reservatórios do mundo para armazenar C, no entanto, ele não é o único, a biomassa viva também é um importante reservatório, não só por estar relacionado a produção de compostos orgânicos, mas pelos efeitos que a vegetação traz para o planeta. Estima-se que a biomassa viva, biomassa em decomposição em solos de florestas tropicais representa pouco mais de 40% do estoque terrestre global (HUNTINGFORD et al., 2013; LEWIS et al., 2019; NGO et al., 2013).

Nesse sentido é importante ressaltar que, o sequestro de carbono em plantas vivas é de grande relevância, a persistência do carbono nesse compartimento, levando em consideração que uma planta pode durar dezenas de anos, representa uma oportunidade para a redução das emissões de CO₂. No nosso caso, a biomassa que está representando esse reservatório é a própria carnaúba. Que se considerarmos sua densidade e capacidade de sequestro de C, podemos inferir alguns dados relevantes e importância social, econômica, ambiental e sustentável.

Apesar de não ter sido realizada a avaliação precisa da densidade populacional das plantas no presente estudo, algumas estimativas apontam a presença de cerca de 100 plantas/ha no entorno das áreas avaliadas. Na literatura, apenas uma referência foi encontrada, a qual cita valores de densidade de plantas, de 184 Plantas/ha (MOORE et al., 1997).

Levando em consideração a densidade estimada pro Moore et al. (1997), temos que na biomassa viva estão sequestrados 37,6 Mg/ha de C. Valor que se revela superior ao estoque de carbono na camada de 0 a 30 cm de solo.

Isso levando em conta a densidade populacional de 184 ar/há. Ainda, se levarmos em consideração o reflorestamento ou adensamento dos ecossistemas de carnaubal nativo, podem ser obtidas densidades de plantas até quatro vezes maiores que a utilizada para fazer essa estimativa. Essa relação de aumento depende da densidade de reflorestamento adotado, geralmente, a densidade de reflorestamento de áreas naturais é maior que em seu estado natural, considerando espaçamentos e linhas específicos para cada necessidade (DING et al., 2023; QUARTUCCI et al., 2023; ZANETTI et al., 2000).

Nesse sentido, é evidente o potencial de sequestro de carbono em ecossistemas de carnaubal. Ressalta-se a importância de conservação da espécie, o trato de reflorestamento dos carnaubais nativos, adoção de silvicultura, não com um sistema necessariamente comercial, mas com um espaço de preservação e estocagem C, o que não impede de explorar esse sistema na extração de palha, claro que adotado manejos mais sustentáveis, uma vez que o C exportado

também pode retornar para a área (PREECE; VAN OOSTERZEE; LAWES, 2023; QUARTUCCI et al., 2023).

As áreas, utilizadas no estudo, de modo geral, apresentaram semelhança nos dados de fertilidade, pH, composição do tecido vegetal e produção de biomassa de palha. Características esperadas por serem áreas pertencentes a mesma classe de solos abrigarem uma vegetação diversificada com predominância das palmeiras. Assim como era esperado uma maior concentração de COT na área de influência da carnaúba na área de preservação das carnaúbas, uma vez que o próprio acúmulo significa um aumento nas concentrações de C. Algo que não observou na mesma unidade experimental na área sem influência da copa, confirmando o efeito positivo da influência da retirada de palha pelo extrativismo do pó cerífero em sistemas naturais, proporcionando qualidade do solo homogênea nos solos de influência e circunvizinhos.

Apenas a área que não ocorre o manejo que apresentou maiores concentrações de bases, o que consideramos algo pré-existente sem relação ao manejo. O manejo não se configurou como um fator causador de prejuízos para os ciclos biogeoquímicos dos nutrientes determinados e o COT.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo extrativista de retirada de folhas de carnaubais possui baixa capacidade de exportação de carbono e nutrientes. Sendo que a influência desse manejo possui capacidade de estimular a produção de folhas pelas plantas de carnaúba e é provável que estimule a produção e deposição de biomassa das outras plantas presentes no sistema, visto que a área sem influência direta da planta da carnaúba apresentou maior concentração de carbono no solo na unidade manejada. Desse modo, podemos presumir que o estoque de carbono no solo é maior em áreas sob manejo extrativista. Para comprovar essa hipótese será necessário estudar com mais detalhamento a extensão da área sob influência direta da planta e determinar a densidade de plantas.

A Carnaúba revelou-se como um compartimento para estocagem de carbono tão importante quanto o solo. Sua capacidade de sequestro de carbono na biomassa viva, favorece a conservação de sistemas naturais, implicando no uso racional e consciente bem como na adoção de atividades mais sustentáveis na atividade extrativista, garantido a sua existência para as gerações futuras. O adensamento de carnaubais nativos e de reflorestamento possuem importante potencial para sequestro de carbono.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, S. R. **PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIREIROS: DO EXTRATIVISMO VEGETAL À BIOECONOMIA DA FLORESTA**. p. 29–43, 2021.
- ALBUQUERQUE, U. P. DE; GONÇALVES-SOUZA, T. **Introdução ao antropoceno**. v. 1, p. 0–106, 2022.
- ALBUQUERQUE, U. P. DE; MELO, F. P. L. Socioecologia da Caatinga. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p. 40–44, out. 2018.
- ALI, A. *et al.* Estimation of forest carbon stocks in temperate and subtropical mountain systems of Pakistan: implications for REDD+ and climate change mitigation. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 3, p. 1–13, 1 mar. 2020.
- ALLAN, A. N. *et al.* Characterization of Carnauba Wax Inorganic Content. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 90, n. 10, p. 1475–1483, 1 out. 2013a.
- ALLAN, A. N. *et al.* Characterization of carnauba wax inorganic content. **JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 90, n. 10, p. 1475–1483, 26 out. 2013b.
- ANANDAKUMAR, S. *et al.* Impact of long-term nutrient management on sequestration and dynamics of soil organic carbon in a semi-arid tropical Alfisol of India. **Applied Soil Ecology**, v. 177, p. 104549, 1 set. 2022.
- ANDERSON, C. R. *et al.* Agroecology now - connecting the dots to enable agroecology transformations. **Taylor & Francis Group**, v. 44, n. 5, p. 561–565, 27 maio 2020.
- ATREYA, S.; POLLACK, J.; MATTHEWS, M. Origin and evolution of planetary and satellite atmospheres. 1989.
- BACHI, L.; RIBEIRO, S. C. The Sustainability of Non-Timber Forest Products (NTFPs) and Sociobiodiversity in Rural Brazil Through Community-based Tourism. p. 225–246, 2022.
- BAYER, C. *et al.* XI-Sistemas de Manejo Conservacionista e Qualidade de solo, com ênfase em Matéria Orgânica. Em: BERTO L; DE MARIA IC; SOUZA LS (Eds.). **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa, MG.
- BRACK, D. **Forests and climate change -Proceedings of Background Study Prepared for the Fourteenth Session of the United Nations Forum on Forests.**: 0. New York, NY, USA: United Nations Forum on Forests, 20 maio 2019. Disponível em: <https://static.un.org/esa/forests/wp-content/uploads/2019/03/UNFF14-BkgdStudy-SDG13-March2019.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2022.
- BRAGA, R. **Plantas do Nordeste: Especialmente do Ceará**. 5. ed. Mossoró, RN: Fundação Guimarães Duque: Fundação Vingt-Un Rosado, 2001. v. 1
- BRASIL; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Série: Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável orgânico** MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Baru : Dipteryx alata VOG. / Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo**: 1. Brasília.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1–2, p. 3–22, 1 jan. 2005.

BUSSI, C.; BRUCHOU, C.; LESCOURRET, F. Response of watersprout growth to fruit load and intensity of dormant pruning in peach tree. **Scientia Horticulturae**, v. 130, n. 4, p. 725–731, 31 out. 2011.

CÂMARA SETORIAL DA CARNAÚBA. A carnaúba: preservação e sustentabilidade. **Fortaleza: Câmara Setorial da Carnaúba**, p. 01–40, 2009.

CARMI, I.; KRONFELD, J.; MOINESTER, M. Sequestration of atmospheric carbon dioxide as inorganic carbon in the unsaturated zone under semi-arid forests. **CATENA**, v. 173, p. 93–98, 1 fev. 2019.

CARVALHO, J. L. N. *et al.* Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 277–290, 2010.

CARVALHO, J. N. F.; GOMES, J. M. A. Pobreza, emprego e renda na economia da carnaúba. **Revista Econômica do Nordeste**, p. 361–378, 2009.

CÁSSIA-SILVA, C. *et al.* Niche conservatism drives a global discrepancy in palm species richness between seasonally dry and moist habitats. **Global Ecology and Biogeography**, v. 28, n. 6, p. 814–825, 1 jun. 2019.

CEARÁ. **DOECE 2/04/2004 - Pg. 3 - Caderno único | Diário Oficial do Estado do Ceará | Diários Jusbrasil**. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/5304391/pg-3-caderno-unico-diario-oficial-do-estado-do-ceara-doece-de-02-04-2004>>. Acesso em: 25 jun. 2022.

CHEN, S. *et al.* Electrochemical Dinitrogen Activation: To Find a Sustainable Way to Produce Ammonia. **Studies in Surface Science and Catalysis**, v. 178, p. 31–46, 2019.

CONCEIÇÃO, P.; AMADO, T.; MIELNICZUK, J. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **SciELO Brasil**, v. 29, p. 777–788, 2005.

CONTI, G. *et al.* Shrub biomass estimation in the semiarid Chaco forest: A contribution to the quantification of an underrated carbon stock. **Annals of Forest Science**, v. 70, n. 5, p. 515–524, 19 jul. 2013.

COSTA, L.; OLIVEIRA, V. Sistemas ambientais, vulnerabilidade ambiental e uso e ocupação na sub-bacia hidrográfica do riacho Santa Rosa–Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, 2019.

COSTA, M. T.; SALINAS-DE-LEÓN, P.; ABURTO-OROPEZA, O. Storage of blue carbon in isolated mangrove forests of the Galapagos' rocky coast. **Wetlands Ecology and Management**, v. 27, n. 4, p. 455–463, 1 ago. 2019.

CRISTINA, E. *et al.* Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 121 **Estoque de Carbono nos Solos do Brasil**. 2007.

CRISTINA, E. *et al.* Estoque de carbono nos solos do Brasil. 2018.

- CRUZ, M. A. L. *et al.* Identification and partial characterization of a chitinase and a β -1,3-glucanase from *Copernicia cerifera* wax. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 40, n. 1, p. 11–16, 1 jan. 2002.
- CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. Matéria orgânica do solo. Em: NUNES, R. R. ; R. O. O. (Ed.). **Recurso solo: propriedades e usos**. 1. ed. São Carlos: EMBRAPA, Repositório Alice, 2015.
- D'ALVA, O. A. **O extrativismo da Carnaúba no Ceará**. Dissertação de Mestrado—Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 29 set. 2004.
- DASSOU, O. *et al.* Improving the methodology for root biomass estimation in monocotyledonous tree plantations: case of oil palm (*Elaeis guineensis*. Jacq) in West Africa. **Plant and Soil**, v. 465, n. 1–2, p. 593–611, 1 ago. 2021.
- DE ALMEILDA, J. A. S. *et al.* Use, perception, and local management of *Copernicia prunifera* (Miller) H. E. Moore in rural communities in the Brazilian Savanna. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 17, n. 1, p. 1–13, 1 dez. 2021a.
- DE ALMEILDA, J. A. S. *et al.* Use, perception, and local management of *Copernicia prunifera* (Miller) H. E. Moore in rural communities in the Brazilian Savanna. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 17, n. 1, p. 1–13, 1 dez. 2021b.
- DE CARVALHO, W. R. *et al.* Short-term changes in the soil carbon stocks of young oil palm-based agroforestry systems in the eastern Amazon. **Agroforestry Systems**, v. 88, n. 2, p. 357–368, 2014.
- DE FREITAS, C. A. S. *et al.* Carnauba wax uses in food – A review. **Food Chemistry**, v. 291, n. December 2018, p. 38–48, 2019.
- DE MARIA, I. C.; BERTOL, I.; DRUGOWICH, M. I. Práticas Conservacionistas do Solo e da Água. Em: BERTOL I, D. M. I.; SOUZA, L. (Eds.). **Manejo e conservação do solo e da água**. 1. ed. Viçosa, MG.: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. v. 1p. 528–558.
- DE MEDEIROS, W. J. F. *et al.* The ecophysiological responses of *Copernicia prunifera* palm trees to soil constraints and competition with invasive *Cryptostegia madagascariensis* in tropical dryland. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 45, n. 3, p. 1–18, 1 mar. 2023.
- DE MIRANDA, D. L. C. *et al.* Biomassa e carbono em *Euterpe oleracea* Mart., na Ilha do Marajó - PA. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 3, p. 336–343, jul. 2012.
- DE SOUSA, R. F. *et al.* Etnoecologia e Etnobotânica da Palmeira Carnaúba no Semiárido Brasileiro. **CERNE**, v. 21, n. 4, p. 587–594, 1 out. 2015.
- DE SOUZA, J. J. L. L. *et al.* Organic carbon rich-soils in the brazilian semiarid region and paleoenvironmental implications. **CATENA**, v. 212, p. 106101, 1 maio 2022.
- DEZZEO, N. *et al.* Degradation-driven changes in fine root carbon stocks, productivity, mortality, and decomposition rates in a palm swamp peat forest of the Peruvian Amazon. **Carbon Balance and Management**, v. 16, n. 1, 1 dez. 2021.
- DIAMOND, J. (No Title). [s.l: s.n.]. Disponível em: www.nature.com/nature. Acesso em: 25

de ago. 2023.

DING, B. *et al.* Secondary vegetation succession following reforestation intensifies preferential flow by improving soil structure in the Chinese Karst region. **Ecological Indicators**, v. 156, p. 111166, 1 dez. 2023.

EISERHARDT, W. L.; COUVREUR, T. L. P.; BAKER, W. J. Plant phylogeny as a window on the evolution of hyperdiversity in the tropical rainforest biome. **New Phytologist**, v. 214, n. 4, p. 1408–1422, 1 jun. 2017.

ELLIS, E. C. *et al.* Dating the Anthropocene: Towards an empirical global history of human transformation of the terrestrial biosphere. **Elementa**, v. 1, 1 jan. 2013.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo. - Portal Embrapa.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>. Acesso em: 22 maio. 2022.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. Viçosa, MG.: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. v. 5

EMBRAPA, I. **SAFIRA - Software para análise de fibras e raízes por imagem - Portal Embrapa.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/9702/safira---software-para-analise-de-fibras-e-raizes-por-imagem>. Acesso em: 27 out. 2023.

EVANGELISTA, W. V. Produtos Florestais Não Madeireiros: Tecnologia, Mercado, Pesquisas e Atualidades. v. 1, 2021.

EVANGELISTA-VALE, J. C. *et al.* Climate change may affect the future of extractivism in the Brazilian Amazon. **Biological Conservation**, v. 257, p. 109093, 1 maio 2021.

FAO, F. AND A. O. OF THE U. N.; ITPS, I. T. P. ON S. Recarbonizing global soils – A technical manual of recommended management practices. **Recarbonizing global soils – A technical manual of recommended management practices**, v. 1, n. 1, p. 01–52, 8 set. 2021.

FAO, F. AND A. O. OF THE U. N. R. **Recarbonizing global soils – A technical manual of recommended management practices** Recarbonizing global soils – A technical manual of recommended management practices. [s.l.] FAO, 8 set. 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb6386en>. Acesso em: 14 nov. 2023.

FILHO, J. *et al.* Fitossociologia de Dois Bosques de Caatinga Utilizados para Extração Foliar da Copernicia prunifera (Mill.) HE Moore e Infestados por Cryptostegia. **periodicos.ufpe.br**, 2021.

FRASER, E. D. G.; CAMPBELL, M. Agriculture 5.0: Reconciling Production with Planetary Health. **One Earth**, v. 1, n. 3, p. 278–280, 22 nov. 2019.

FUNG, I. Carbon Cycle. **Encyclopedia of Physical Science and Technology**, p. 417–429, 2003.

GATTO, A. *et al.* Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1069–1079, 2010a.

GATTO, A. *et al.* Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1069–1079, 2010b.

GAYON, J. History of the Concept of Allometry. **Integrative and Comparative Biology**, v. 40, n. 5, p. 748–758, 1 out. 2000.

GEHRING, C. *et al.* Babassu palm (*Attalea speciosa* Mart.) super-dominance shapes its surroundings via multiple biotic, soil chemical, and physical interactions and accumulates soil carbon: a case study in eastern Amazonia. **Plant and Soil**, v. 454, n. 1–2, p. 447–460, 1 set. 2020.

GIONGO, V. *et al.* Carbono no sistema solo-planta no Semiárido brasileiro. **ainfo.cnptia.embrapa.br**, v. 06, p. 1233–1253, 2011.

GOODMAN, R. C. *et al.* Amazon palm biomass and allometry. **Forest Ecology and Management**, v. 310, p. 994–1004, 15 dez. 2013.

GRÜNEBERG, E. *et al.* Carbon Stocks and Carbon Stock Changes in German Forest Soils. p. 167–198, 2019.

HAN, X. *et al.* Understanding soil carbon sequestration following the afforestation of former arable land by physical fractionation. **CATENA**, v. 150, p. 317–327, 1 mar. 2017.

HEINZE, C.; MEYER, S.; GORIS, N. L. A. The ocean carbon sink—impacts, vulnerabilities and challenges. **esd.copernicus.org**, 2018.

HIRONAKA, G. M. F. N. O extrativismo como atividade agrária. **Jus Navigandi**, v. 4, p. 01–42, 2000.

HODEL, D.; PITTENGER, D. R.; DOWNER, J. A. Palm Root Growth and Implications for Transplanting. **journal of Arboriculture**, v. 31, p. 171, 2005.

HOMMA, A. K. O. **Extrativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação**. 1. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2014. v. 1

HUMPENÖDER, F. *et al.* Peatland protection and restoration are key for climate change mitigation. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 10, p. 104093, 9 out. 2020.

HUNTINGFORD, C. *et al.* Simulated resilience of tropical rainforests to CO₂-induced climate change. **Nature Geoscience**, v. 6, n. 4, p. 268–273, abr. 2013.

HUXLEY, J. S.; TEISSIER, G. Terminology of Relative Growth. **Nature** 1936 137:3471, v. 137, n. 3471, p. 780–781, 1936.

IHERINGIA, R. DOS S. N. *Arecaceae* Bercht. & J. Presl. no Litoral Piauiense, Delta do Parnaíba, Piauí, Brasil. **isb.emnuvens.com.br**, 2017.

IPCC, T. I. P. ON C. C. **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change** (WORKING GROUP III CONTRIBUTION TO THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT (AR6), Ed.) **The Intergovernmental Panel on Climate Change**. Genebra: III, 27 fev. 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>. Acesso em: 25 jun. 2022.

- ISHA, A. *et al.* Metabolites identification of oil palm roots infected with *Ganoderma boninense* using GC–MS-based metabolomics. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 13, n. 7, p. 6191–6200, 1 jul. 2020.
- JACOMINE, P.; ALMEIDA, J.; MEDEIROS, L. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará. 1973.
- JACOMINE, P.; CAVALCANTI, A.; SILVA, F. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem direita do Rio São Francisco estado da Bahia. 1979.
- JONES, G. *et al.* The origins of agriculture: Intentions and consequences. **Journal of Archaeological Science**, v. 125, p. 105290, 1 jan. 2021.
- JOSHI, V. C. *et al.* Tree biomass and carbon stock assessment of subtropical and temperate forests in the Central Himalaya, India. **Trees, Forests and People**, v. 6, p. 100147, 1 dez. 2021.
- JOURDAN, C.; REY, H. Modelling and simulation of the architecture and development of the oil-palm (*elaeis guineensis jacq.*) root system: I. The model. **Plant and Soil**, v. 190, n. 2, p. 217–233, 1997.
- KARHU, J. Geochemistry. **Geochemistry**, Encyclopedia of Earth Science. 1998.
- KATHIRESAN, K. *et al.* Pruning of shoot branches: An efficient technique for stimulating the mangrove growth (*Rhizophora mucronata*). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 17, p. 309–312, 1 jan. 2019.
- KELLER, D. P. *et al.* The Effects of Carbon Dioxide Removal on the Carbon Cycle. **Current Climate Change Reports**, v. 4, n. 3, p. 250–265, 1 set. 2018.
- LAL, R. Carbon sequestration in dryland ecosystems of West Asia and North Africa. **Land Degradation & Development**, v. 13, n. 1, p. 45–59, 1 jan. 2002.
- LAL, R. Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. **Global Change Biology**, v. 24, n. 8, p. 3285–3301, 1 ago. 2018.
- LAMBERS, H.; CHAPIN, F. S.; PONS, T. L. Introduction—History, Assumptions, and Approaches. **Plant Physiological Ecology**, p. 1–9, 2008.
- LE QUÉRÉ, C. *et al.* Global Carbon Budget 2016. **Earth System Science Data**, v. 8, n. 2, p. 605–649, 14 nov. 2016.
- LEHMANN, J. *et al.* Biochar effects on soil biota – A review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 9, p. 1812–1836, 1 set. 2011.
- LETCHER, T. M. Why discuss the impacts of climate change? **The Impacts of Climate Change**, p. 3–17, 1 jan. 2021.
- LEWIS, K. *et al.* An assessment of oil palm plantation aboveground biomass stocks on tropical peat using destructive and non-destructive methods. **Scientific Reports 2020 10:1**, v. 10, n. 1, p. 1–12, 10 fev. 2020.

- LEWIS, T. *et al.* Reforestation of agricultural land in the tropics: The relative contribution of soil, living biomass and debris pools to carbon sequestration. **Science of The Total Environment**, v. 649, p. 1502–1513, 1 fev. 2019.
- LIANG, C. *et al.* Quantitative assessment of microbial necromass contribution to soil organic matter. **Global Change Biology**, v. 25, n. 11, p. 3578–3590, 1 nov. 2019.
- LIMA, C. climáticas no Quaternário Tardio na região da Ilha de Marajó (PA), empregando os isótopos do carbono (^{12}C , ^{13}C , ^{14}C) da matéria orgânica de solos e sedimentos. 2008.
- LOIOLA, M. I. B. ; S. *et al.* **FLORA DO CEARÁ - Secretaria do Meio Ambiente**. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/flora-do-ceara/>. Acesso em: 5 jul. 2022.
- LONG, A. Carbon. **Geochemistry**, Encyclopedia of Earth Science. p. 51–58, 1998.
- LORENZ, K.; LAL, R. Effects of Organic Agriculture on the Soil Carbon Stock. **Organic Agriculture and Climate Change**, p. 39–127, 2023.
- LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 1992.
- LUIS, R. F. *et al.* ABORDAGEM GEOAMBIENTAL NA ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BANABUIÚ–CE/GEOENVIRONMENTAL. **Revista GeoAmazônia**, v. 4, p. 27–45, 2017.
- MACREADIE, P. I. *et al.* Operationalizing marketable blue carbon. **One Earth**, v. 5, n. 5, p. 485–492, 20 maio 2022.
- MÁLAGA, N. *et al.* Variation in Vegetation and Ecosystem Carbon Stock Due to the Conversion of Disturbed Forest to Oil Palm Plantation in Peruvian Amazonia. **Ecosystems**, v. 24, n. 2, p. 351–369, 1 mar. 2021.
- MENEZES, R. S. C. *et al.* Ciclagem biogeoquímica em ecossistemas terrestres do bioma Caatinga. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 3 SUPPL., p. 643–653, 2012.
- MEYER, R. S.; PURUGGANAN, M. D. Evolution of crop species: genetics of domestication and diversification. **Nature Publishing Group**, 2013.
- MOORE, H. E. *et al.* Uso da amostragem estratificada na estimativa da produção cerífera de carnaúba *Copernicia prunifera* (Miller) H. E. Moore, no município de Campo Maior – Piauí. 1997.
- MYROLD, D. D. Carbon cycle. **Environmental Geology**, p. 69–70, 1999.
- NATARAJAN, N. *et al.* A sustainable livelihoods framework for the 21st century. **World Development**, v. 155, p. 105898, 1 jul. 2022.
- NAYAK, A. K. *et al.* Current and emerging methodologies for estimating carbon sequestration in agricultural soils: A review. **Science of The Total Environment**, v. 665, p. 890–912, 15 maio 2019.
- NGO, K. M. *et al.* Carbon stocks in primary and secondary tropical forests in Singapore.

Forest Ecology and Management, v. 296, p. 81–89, 5 maio 2013.

OLIVEIRA FILHO, J. DE S. How do climate and land-use affect soil carbon and nitrogen stocks and the chemical properties of floodplain soils in tropical drylands? **CATENA**, v. 231, p. 107289, 1 out. 2023.

PACHECO, M. A. *et al.* 2-METODOLOGIA. **observatoriogeograficoamericalatina ...**, 2008.

PARRON, L. M. *et al.* Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**, p. 266–270, 2017.

PAUSTIAN, K. Soil: Carbon Sequestration in Agricultural Systems. **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**, p. 140–152, 1 jan. 2014.

PEREIRA JUNIO, R. F. *et al.* Thermochemical and structural characterization of promising carnauba novel leaf fiber (*Copernicia prunifera*). **Journal of Materials Research and Technology**, v. 18, p. 4714–4723, 1 maio 2022.

PERERA, N. *et al.* Quantification of blue carbon in tropical salt marshes and their role in climate change mitigation. **Science of The Total Environment**, v. 820, p. 153313, 10 maio 2022.

PIÑERO, S. R. **Estoque de Nutrientes em Carnaubais Nativos Sobre Impacto**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais)—Fortaleza: Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, 12 jun. 2016.

PRAMUDITA, R. *et al.* Synthesis of fluorescent citric acid carbon dots composites derived from empty fruit bunches of palm oil tree and its anti-bacterial property. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 6, p. 100277, 1 dez. 2022.

PREECE, N. D.; VAN OOSTERZEE, P.; LAWES, M. J. Reforestation success can be enhanced by improving tree planting methods. **Journal of Environmental Management**, v. 336, p. 117645, 15 jun. 2023.

PRIBYL, D. W. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. **Geoderma**, v. 156, n. 3–4, p. 75–83, 15 maio 2010.

QUARTUCCI, F. *et al.* Deep soil carbon loss offsets rapid aboveground carbon accumulation after reforestation. **Forest Ecology and Management**, v. 548, p. 121403, 15 nov. 2023.

QUEIROGA, V. DE PAULA. A. M. VINÍCIUS. A. A. E. M. B. DE. **Carnaubeira: tecnologia de plantio e aproveitamento industrial**. 2. ed. Campina Grande: AREPB: [s.n.]. v. 2

QUEIROGA, V. DE PAULA. A. M. VINÍCIUS. A. A. E. M. BARROS. **Carnaubeira: tecnologia de plantio e aproveitamento industrial**. Editora Universidade de Campina Grande, v. 1, 2013.

RANZATO FILARDI, F. L. *et al.* Brazilian flora 2020: Innovation and collaboration to meet target 1 of the global strategy for plant conservation (GSPC). **Rodriguesia**, v. 69, n. 4, p.

1513–1527, 1 out. 2018.

RIVERA ANDÍA, J. J.; VINDAL ØDEGAARD, C. Introduction: Indigenous Peoples, Extractivism, and Turbulences in South America. **Indigenous Life Projects and Extractivism**, p. 1–50, 2019.

ROCHA, T. G. F. *et al.* Fenologia da *Copernicia prunifera* (Arecaceae) Em uma Área de Caatinga do Rio Grande do Norte. **CERNE**, v. 21, n. 4, p. 673–681, 1 out. 2015.

SANDERMAN, J.; HENGL, T.; FISKE, G. J. Soil carbon debt of 12,000 years of human land use. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 114, n. 36, p. 9575–9580, 5 set. 2017.

SANTOS, R. D. M. Geoquímica de isótopos de carbono e oxigênio dos carbonatitos do complexo alcalino de Mato Preto, Paraná, Brasil. **Brazilian Journal of**, 1990.

SHIELDS, G. A. Carbon Cycle. **Encyclopedia of Geology**, p. 335–345, 1 jan. 2004.

SILVA, A. B.; MARQUES, L. G. A.; MOREIRA, J. DE J. DA S. O Extrativismo da Carnaúba (*Copernicia Prunifera*): Fonte de Renda Durável e da Mitigação da Pobreza do Pequeno Agricultor Piauiense. Em: SUZANA LEITÃO RUSSO; MARIA RITA DE MORAIS CHAVES SANTOS; MARIANE CAMARGO PRIESNITZLANA GRAZIELA ALVES MARQUES (Eds.). **Propriedade Intelectual, Tecnologias e Empreendedorismo**. 1. ed. Aracaju, SE: ASSOCIAÇÃO ACADÊMICA DE PROPRIEDADE INTELECTUAL, 2017. v. 1p. 0–397.

SILVA, J. Y. G. DA *et al.* Chemical characterization of p-hydroxycinnamic diesters extracted from *Copernicia prunifera* and attenuation of biomarkers in C57BL/6J diabetic mice. **Food Bioscience**, v. 41, n. March, 2021.

SOUSA, R. **Uso sustentável da Copernicia prunifera (Miller) H. E Moore no semiárido potiguar: valorização de saberes e conservação dos recursos genéticos**. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais —Macaíba, RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2 ago. 2014.

SOUSA, R. *et al.* Etnoecologia e etnobotânica da palmeira carnaúba no semiárido brasileiro. **SciELO Brasil**, 2015.

SOUZA, G. L. F. M. *et al.* Efeito da época de poda do sistema radicular no crescimento de mudas de Algarobeira. **periodicos.ufersa.edu.br**, p. 250–254, 2006.

SOUZA OLIVEIRA, E.; REATTO, A.; LLACER ROIG, H. ESTOQUES DE CARBONO DO SOLO SEGUNDO OS COMPONENTES DA PAISAGEM. **Cadernos de Ciência & Tecnologia - Embrapa**, v. 1, n. 2, p. 0–24, 2015.

STUART CHAPIN, F.; MATSON, P. A.; VITOUSEK, P. M. Principles of terrestrial ecosystem ecology. **Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology**, p. 1–529, 1 jan. 2012.

TIAN, W. A commentary of “Antarctic ozone layer is gradually recovering” in 10 remarkable discoveries from 2020 in Nature. **Fundamental Research**, v. 2, n. 2, p. 337–338, 1 mar. 2022.

TRANS, P. P. Why carbon dioxide from fossil fuel burning won't go away, in Perspectives in

Environmental Chemistry (ed. D. Macalady). New York: Oxford University Press, pp. 271–91. - Pesquisa Google. (ed. D. Macalady). New York: Oxford University Press, 1998.

TSCHAKERT, P.; TAPPAN, G. The social context of carbon sequestration: considerations from a multi-scale environmental history of the Old Peanut Basin of Senegal. **Journal of Arid Environments**, v. 59, n. 3, p. 535–564, 1 nov. 2004.

VAN DER SANDE, M. T. *et al.* Abiotic and biotic drivers of biomass change in a Neotropical forest. **Journal of Ecology**, v. 105, n. 5, p. 1223–1234, 1 set. 2017.

VIEIRA, S. A. *et al.* Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica**, v. 8, n. 2, p. 21–29, abr. 2008.

VILLA, J. A.; BERNAL, B. Carbon sequestration in wetlands, from science to practice: An overview of the biogeochemical process, measurement methods, and policy framework. **Ecological Engineering**, v. 114, p. 115–128, 15 abr. 2018.

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 211, n. 3, p. 371–384, 20 jun. 2005.

WATSON, R. T. **Climate change 2001: synthesis report: third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, Inglaterra: [s.n.].

WEISKITTEL, A. R. *et al.* A Call to Improve Methods for Estimating Tree Biomass for Regional and National Assessments. **Journal of Forestry**, v. 113, n. 4, p. 414–424, 9 jul. 2015.

WHITE, W. **Geochemistry**. 2. ed. USA: John Wiley & Sons, 2020. v. 2

WICKENS, G. E. Management issues for development of non-timber forest products. **Unasylva**, p. 3–8, 1991.

WIN KENT, O. *et al.* Early symptom detection of basal stem rot disease in oil palm trees using a deep learning approach on UAV images. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 213, p. 108192, 1 out. 2023.

YOUJI, N. *et al.* Morphological and Anatomical Observations of Adventitious and Lateral Roots of Sago Palms. **Plant Production Science**, v. 5, n. 2, p. 139–145, 2002.

ZAKARIA, N. Z. J. *et al.* A review of the recent trend in the synthesis of carbon nanomaterials derived from oil palm by-product materials. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2022.

ZANETTI, R. *et al.* Efeito da densidade e do tamanho de saueiros sobre a produção de madeira em eucaliptais. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 29, n. 1, p. 105–112, mar. 2000.

ZAPPI, D. C. *et al.* Growing knowledge: An overview of Seed Plant diversity in Brazil. **Rodriguesia**, v. 66, n. 4, p. 1085–1113, 1 out. 2015.

ZÁRATE-RUEDA, R.; BELTRÁN-VILLAMIZAR, Y. I.; MURALLAS-SÁNCHEZ, D.

Socioenvironmental conflicts and social representations surrounding mining extractivism at Santurban. **Scientific Reports** 2022 **12:1**, v. 12, n. 1, p. 1–12, 15 jun. 2022.

ZHOU, X. *et al.* Dynamic allometric scaling of tree biomass and size. **Nature Plants** 2021 **7:1**, v. 7, n. 1, p. 42–49, 4 jan. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Manejo florestal**. 2022. In: <https://antigo.mma.gov.br/florestas/manejo-florestal-sustent%C3%A1vel/produtos-madeireiros-e-n%C3%A3o-madeireiros.html>. Acesso em 27 de jun de 2022.

DE FREITAS, Claisa Andréa Silva et al. **Carnauba wax uses in food – A review**. Food Chemistry, v. 291, n. December 2018, p. 38–48, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.133>.

HOMMA, Alfredo Kingo Oyama. **Colhendo da Natureza: o extrativismo vegetal na Amazônia**. [S.l: s.n.], 2018. v. 1.

HOMMA, Alfredo Kingo Oyama. **Extrativismo Vegetal na Amazônia**. [S.l: s.n.], 2014.

SILVA, José Ytalo Gomes Da et al. **Chemical characterization of p-hydroxycinnamic diesters extracted from Copernicia prunifera and attenuation of biomarkers in C57BL/6J diabetic mice**. Food Bioscience, v. 41, n. March, 2021.

HOMMA, Alfredo Kingo Oyama. **Extrativismo Vegetal na Amazônia limites e possibilidades**. Brailia. EMBRAPA, p. 202, 1993

MOTA, Dalva Maria; SCHMITZ, Heribert.; DA SILVA JUNIOR, Josue. Francisco. O extrativismo em tempos de globalização no nordeste brasileiro. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE SOCIOLOGIA**, 13., 2007, Recife. Desigualdade, diferença, reconhecimento: anais. Recife: Sociedade Brasileira de Sociologia, 2007.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2020**, Rio de Janeiro, v. 35, p. 1-8, 2020.

ANEXO A – FICHA DE CLÁSSIFICAÇÃO DOS SOLOS DA ÁREA DE CARNAUBAL

PERFIL 01 – ÁREA DAS CARNAUBAS MANEJADAS

PLANOSSOLO NÁTRICO ÓRTICO TÍPICO – 4º NÍVEL CATEGÓRICO

Localização – Fazenda Modelo Domingos Pontes, Caucaia/CE. **Coordenadas:** Lat. -3.726898; Long. -38.785543

Situação – Trincheira da Área das Carnaúbas Manejadas. **Data:** 19/10/2022.

Declividade –

Formação geológica e litológica –

Material originário –

Relevo local – Plano

Relevo regional – Ondulado

Altitude – 43 m

Pedregosidade – Não pedregosa

Rochosidade – Não rochosa

Drenagem – Imperfeita

Erosão – Não aparente

Vegetação local – Caatinga hiperxerófila, mata ciliar composta por carnaubal nativo.

Vegetação regional – Caatinga.

Uso atual – Extração da palha da carnaúba para produção de pó cerífero.

Descrito por: Prof. Ricardo Espíndola Romero, Aluno Ruan Veras Do Amaral.

Raízes: Poucas finas e médias no A1; raras finas no A2; comuns médias e grossas no E1; raras finas médias

A ₁	0 – 5 cm; Bruno-acinzentado-escuro (10 YR 4/2 úmido), Cinzento-acinzentado (10 YR 5/2 seco); franco siltosa; blocos subangulares média e grande forte; ligeiramente duro a duro seco, muito friável úmido, ligeiramente plástico não pegajoso; transição plana e abrupta.
A ₂	5 – 22 cm; Bruno-escuro (10 YR 4/3 úmido) Cinzento-brunado-claro (10 YR 6/2 seco); franca e franca argilosa; blocos subangulares pequena e média moderada; duro e muito duro seco friável úmido; ligeiramente plástico ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.
E ₁	22 – 49 cm; Bruno-escuro (10 YR 4/3 úmido); mosqueado pouco médio pequeno proeminente vermelho-amarelados (5 YR 5/8 úmido); franca; blocos subangulares muito pequena e média fraca e moderada; macio e ligeiramente duro seco friável úmido, plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.
E ₂	49 – 74 cm; Bruno-claro-acinzentado (10 YR 6/3,5); mosqueados comum médio distinto Amarelo-brunado (10 YR 6/6); areia; blocos subangulares média e grande fraca; macio seco e muito friável úmido, não plástico e não pegajoso; transição ondulada e abrupta.
Bt ₁	74 – 102 cm; Bruno-amarelado (10 YR 6/3 úmido); mosqueados abundante pequeno médio e grande proeminente Bruno-forte (7,5 YR 5/8 úmido); franco arenosa; colunar muito grande forte; muito duro a extremamente duro seco friável úmido; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada e abrupta.
Bt ₂	102 – 135 cm; Bruno-escuro (10 YR 4/3 úmido); mosqueado abundante pequeno e médio proeminente vermelho (10 R 4/8 úmido) bruno-amarelado (10 YR 5/6 úmido)
C	135 – 152+ cm; saprólito.

e grossas no E2; raras finas e médias no B1; raras finas no B2 e raras finas e médias no C.

Observações: A2 estrutura com aspectos maciços; E1 mosqueado 2%; E2 mosqueados 7% profandidade varia entre 70 e 78 cm; Bt₁ profundidade varia entre 91 e 104 cm, mosqueados 20-30%; Bt₂ mosqueados 30% plintita 3% a estrutura não foi feita na ocasião porque o Bt₂ estava úmido para a escavação da trincheira.

Horizonte		Amostra seca ao ar (%)			pH		Equiv. De Umidade	Posto saturado		Sat. c/sódio 100.Na/T
Símbolo	Profund	Calhaus (>20mm)	Cascalho (20-2mm)	TF (<2mm)	Água	KCl		C.E. do extrato (dS/m 25° C)	Água (%)	
A1	0 – 5	0	0	100	4,63	3,83		0,42		9
A2	5 – 22	0	0	100	4,7	3,67		0,14		11
E1	22 – 49	0	0	100	4,71	3,56		0,14		17
E2	49 – 74	0	0	100	4,92	3,74		0,10		19
Bt1	74 – 102	0	0	100	5,23	3,93		0,14		22
Bt2	102 – 135				5,48	3,92		0,13		28
C	135 – 152+	0	X	100	5,74	4,14		0,21		39
Complexo Sortivo (cmole/kg)									V (%)	$\frac{100 \cdot Al^{3+}}{Al^{3+} + S}$
Ca²⁺	Mg²⁺	K⁺	Na⁺	H⁺	Al³⁺	S	T			
1,14	1,11	1,66	0,83	1,05	6,0	4,74	10	49		
0,89	0,98	1,14	0,88	1,31	5,6	3,89	8	48		
0,70	0,96	0,96	1,23	1,635	5,1	3,85	7	53		
0,49	0,75	0,59	0,82	2,35	4	2,65	4	62		
0,73	1,40	0,68	1,17	2,48	3,8	3,98	5	75		
1,26	3,08	0,53	2,43	2,48	3,8	7,3	9	85		
2,24	7,41	0,62	7,30	2,61	3,6	17,57	19	95		
C (%)	N (%)	$\frac{C}{N}$	Composição Granulométrica (%)				Argila Natural	Graude Floclação (%)	$\frac{\%Silte}{\%Argila}$	
			Areia Grossa	Areia	Silte	Argila				
2,09	0,10				11	87	2			
1,04	0,06				10	88	2			
0,49	0,04				12	85	3			
0,50	0,02				7	93	1			
0,67	0,02				8	91	1			
0,53	0,03				19	75	6			
0,18	0,03				35	42	24			

PERFIL 02 – ÁREA DAS CARNAUBAS NÃO MANEJADAS

PLANOSSOLO NÁTRICO ÓRTICO TÍPICO – 4º NÍVEL CATEGÓRICO

Localização – Fazenda Modelo Domingos Pontes, Caucaia/CE. **Coordenadas: Lat.** -3.72543; **Long.** -38.79132.

Situação – Trincheira da Área das Carnaubas Manejadas. **Data:** 28/10/2022.

Declividade –

Formação geológica e litológica –

Material originário –

Relevo local – Plano

Relevo regional – Ondulado

Altitude – 39 m

Pedregosidade – Não pedregosa

Rochosidade – Não rochosa

Drenagem – Imperfeita

Erosão – Não aparente

Vegetação local – Caatinga hiperxerófila, mata ciliar composta por carnaubal nativo.

Vegetação regional – Caatinga.

Uso atual – Área de carnaubal nativo em estado de preservação.

Descrito por: Prof. Ricardo Espíndola Romero, Aluno Ruan Veras Do Amaral.

A	0 – 13 cm; Bruno (10 YR 4/3 úmido), Cinzento-claro (10 YR 7/2 seco); franco siltosa/silte; blocos angular e subangulares pequena e média moderada; ligeiramente duro, muito friável úmido, ligeiramente plástico não pegajoso; transição plana e clara.
AE	13 – 24 cm; Bruno (10 YR 4/3 úmido) Cinzento-claro (10 YR 7/2 seco); mosqueado pouco proeminente Vermelho-escuro (2,5 YR 3/6) Bruno-forte (7,5 YR 5/6); franca argiloarenosa; blocos subangulares média moderada; ligeiramente duro e duro seco friável úmido; ligeiramente plástico ligeiramente pegajoso; transição plana e difusa.
EA	24 – 39 cm; Bruno-escuro (10 YR 4/3 úmido); mosqueado pouco médio proeminente Bruno-forte (7,5 YR 5/8 e 5/6 úmido); franca argiloarenosa; blocos subangulares média moderada; muito duro e ligeiramente duro seco muito friável úmido, ligeiramente plástico ligeiramente pegajoso; transição plana e difusa.
E	39 – 58 cm; Bruno-claro-acinzentado (10 YR 6/3); mosqueados comum médio grande proeminente Bruno-forte (7,5 YR 4/6) Bruno-amarelado (10 YR 5/8); areia; maciça; ligeiramente duro seco e muito friável úmido, não plástico e não pegajoso; transição ondulada e abrupta.
Bt ₁	58 – 113 cm; Bruno-escuro (10 YR 3/3 úmido); mosqueados abundante pequeno médio e grande proeminente Bruno-forte (7,5 YR 5/8/6 úmido); Argila e franco argilosa; colunar muito grande forte; extremamente duro seco muito firme úmido; muito plástico e muito pegajoso; transição ondulada e difusa.
Bt ₂	113 – 133 cm; Bruno-escuro (10 YR 3/3 úmido); mosqueado abundante pequeno proeminente Vermelho-amarelado (5 YR 4/6 úmido); Argila e franco argilosa; colunar muito grande forte; extremamente duro seco muito firme úmido; transição plana clara.
Bt ₃	133 – 202+ cm; Bruno-amarelado-escuro (10 YR 3/4 úmido); mosqueado comum pequeno e médio Bruno-forte (7,5 YR 4/6) Amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/8); Franco argiloarenosa; blocos subangulares; muito grande moderada; extremamente duro seco firme úmido; transição ondulada e clara.

