



## Estoque de carbono e viabilidade econômica de erva-mate sombreada e sob pleno sol: estudo de caso em Cruz Machado e Bituruna, PR





**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Florestas  
Ministério da Agricultura e Pecuária**

**DOCUMENTOS 390**

**Estoque de carbono e viabilidade econômica de erva-mate  
sombreada e sob pleno sol:  
estudo de caso em Cruz Machado e Bituruna, PR**

*Marcos Fernando Glück Rachwal  
Marcelo Francia Arco Verde  
Josileia Acordi Zanatta  
Ives Clayton Gomes dos Reis Goulart  
Gabriel Ferraz de Arruda Dedini  
Mariana da Silva Alves Costa  
Jéssica de Cássia Tomasi  
George Correa Amaro  
Emiliano Santarosa  
Silvio Brienza Júnior*

**Embrapa Florestas**  
Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba  
Caixa Postal 319  
83411-000, Colombo, PR  
Fone: (41) 3675-5600  
www.embrapa.br/florestas  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da  
Embrapa Florestas

Presidente  
*Patrícia Póvoa de Mattos*

Vice-Presidente  
*José Elidney Pinto Júnior*

Secretária-executiva  
*Elisabete Marques Oaida*

Membros  
*Annete Bonnet*  
*Cristiane Aparecida Fioravante Reis*  
*Elenice Fritzsos*  
*Guilherme Schnell e Schühli*  
*Marilice Cordeiro Garrastazú*  
*Sandra Bos Mikich*  
*Susete do Rocio Chiarello Penteado*  
*Valderês Aparecida de Sousa*

Supervisão editorial e revisão de texto  
*José Elidney Pinto Júnior*

Normalização bibliográfica  
*Francisca Rasche*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Celso Alexandre de Oliveira Eduardo*

Foto capa  
*Marcos Fernando Glück Rachwal*

**1ª edição**  
Publicação digital (2023): PDF

#### **Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Florestas

---

Estoque de carbono e viabilidade econômica de erva-mate sombreada e sob pleno sol:  
estudo de caso em Cruz Machado e Bituruna, PR. [recurso eletrônico] / Marcos  
Fernando Glück Rachwal ... [et al.]. - Colombo : Embrapa Floresta, 2023.  
PDF (53 p.) : il. color. - (Documentos / Embrapa Florestas, e-ISSN 1980-3958 ; 390)

1. *Ilex paraguariensis*. 2. Sistema de cultivo. 3. Estoque de carbono. 4. Emissão de  
gases. 5. Efeito estufa. 6. Viabilidade econômica. 7. Erva-mate. 8. Produto florestal  
não lenhoso. I. Arco-Verde, M. F. II. Zanatta, J. A. III. Goulart, I. C. G. dos R. IV.  
Dedini, G. F. de A. V. Costa, M. da S. A. VI. Tomasi, J. de C. VII. Amaro, G. C. VIII.  
Brienza Júnior, S. IX. Série.

---

*Francisca Rasche* (CRB-9/1204)

CDD (21. ed.) 634.974  
© Embrapa 2023

## Autores

### **Marcos Fernando Glück Rachwal**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Conservação da Natureza, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

### **Marcelo Francia Arco Verde**

Engenheiro florestal, doutor em Sistemas Florestais, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

### **Josileia Acordi Zanatta**

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

### **Ives Clayton Gomes dos Reis Goulart**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, analista da Embrapa Florestas, Colombo, PR

### **Gabriel Ferraz de Arruda Dedini**

Engenheiro-agrônomo, mestre em Agroecologia e Desenvolvimento Rural, coordenador de Programas da Fundação Solidariedad, Colombo, PR

### **Mariana da Silva Alves Costa**

Engenheira-agrônoma e ciências ambientais, graduação em Agronomia, coordenadora de monitoramento e qualidade da Fundação Solidariedad, Colombo, PR

### **Jéssica de Cássia Tomasi**

Engenheira florestal, doutora em Agronomia, gerente de projetos da Fundação Solidariedad, Colombo, PR

### **George Correa Amaro**

Economista, mestre em Economia, pesquisador da Embrapa Roraima, Boa Vista, RR

### **Emiliano Santarosa**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, analista da Embrapa Florestas, Colombo, PR

### **Silvio Brienza Júnior**

Engenheiro florestal, doutor em Agricultura Tropical, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Colombo, PR



## Apresentação

A erva-mate é uma das espécies florestais mais plantadas no Sul do Brasil, gerando renda para pequenos e médios produtores familiares, bem como para as indústrias ervateiras. Por tratar-se de uma espécie perene, mostra considerável potencial de armazenar carbono tanto na sua biomassa como no solo, em plantios sob pleno sol e em áreas sombreadas de remanescentes florestais nativos da Floresta Ombrófila Mista, mediante adensamento ou por meio de arborização de ervais. Nos citados remanescentes, a cultura contribui para mitigar os efeitos da mudança do clima e para a conservação de inúmeras espécies da flora e da fauna. No entanto, não existem informações abundantes sobre análise de viabilidade e indicadores financeiros na produção de erva-mate, assim como a respeito da contribuição da cultura na redução da emissão de gases de efeito estufa e sobre as quantidades padrão de armazenamento de carbono na biomassa e no solo. Neste contexto, o trabalho objetivou mensurar o estoque de carbono (C), avaliar a viabilidade econômica em adensamentos de erva-mate com diferentes níveis de sombreamento e ervais sob pleno sol e, por fim, discutir como o manejo adotado nestes sistemas afeta os estoques na vegetação e no solo, o quanto contribui para a redução da emissão de gases de efeito estufa e ao enfrentamento da mudança do clima, garantindo renda e sustentabilidade. Para isto, selecionou-se, em propriedades representativas, dois sistemas com dois graus distintos de sombreamento e três sob pleno sol, com diferentes coberturas de solo, níveis tecnológicos e perfis socioeconômicos, nos Municípios de Cruz Machado e Bituruna, ambos no Paraná. Foram determinados os estoques de C do solo até 30 cm e 100 cm de profundidade, na biomassa e na serapilheira. Realizou-se o inventário da vegetação determinando: altura e DAP médios dos indivíduos de erva-mate e demais espécies arbóreas, grau de sombreamento e espaçamento. Fez-se o levantamento da idade dos ervais, sistemas e intervalo de poda, aplicação de insumos químicos e das práticas de manejo de solo adotadas. Finalmente, obtiveram-se os indicadores financeiros que permitiram calcular o fluxo de custos e ingressos para proceder a análise de viabilidade econômica dos sistemas de produção. O maior estoque de C foi encontrado no compartimento solo em todos os sistemas de cultivo, enquanto na biomassa da erva-mate o maior estoque ocorreu nos sistemas sob pleno sol. A serapilheira nos cultivos sombreados e a cobertura viva naqueles sob pleno sol contribuiram para proteger o solo e manter o estoque de C. Os dois sistemas apresentam vantagens e desvantagens. Nos sistemas sombreados, tem-se maior proteção do solo, maior biodiversidade e obtem-se produto com qualidade diferenciada, enquanto naqueles sob pleno sol a produtividade é superior, sendo que a erva produzida na sombra pode render mais financeiramente. No entanto, é preciso encontrar o nível de sombreamento ideal com baixo impacto na produtividade que, associado à adoção de práticas de manejo adequadas, maximizem os estoques de C, tanto no solo como na biomassa. Deste modo, os sistemas de produção serão mais lucrativos e, ao mesmo tempo, sustentáveis. A publicação tem alinhamento às metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), pois evidencia formas mais produtivas de erva-mate (ODS 8), destaca a importância dos sistemas de produção de erva-mate e seu manejo sustentável (ODS 12 e ODS 15) e valoriza a colaboração de diferentes atores para o avanço do conhecimento (ODS 17).

*Marcílio José Thomazini*

Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento Embrapa Florestas



## Sumário

Introdução.....	11
Erva-mate na agenda climática .....	11
Viabilidade financeira da erva-mate.....	12
Metodologia.....	13
Caracterização da área de estudo.....	13
Seleção de sistemas de produção de erva-mate .....	13
Caracterização dos solos .....	14
Granulometria e densidade do solo .....	14
Atributos químicos.....	14
Determinação dos estoques de carbono na biomassa e no solo .....	18
Carbono na parte aérea e raízes .....	19
Carbono na serapilheira.....	19
Carbono do solo.....	20
Carbono ecossistêmico.....	20
Caracterização dos sistemas de produção de erva-mate .....	20
Análise de viabilidade financeira .....	21
Indicadores financeiros avaliados .....	21
Análise dos dados.....	22
Definição de critérios para realizar a análise de viabilidade financeira .....	23
Resultados e discussão.....	23
Estoques de carbono.....	23
Estoque de carbono na biomassa vegetal .....	23
Concentração e estoque de carbono no solo .....	27
Carbono ecossistêmico.....	31
Considerações sobre os estoques de carbono .....	32
Análise de viabilidade financeira .....	33
Sistemas de erva-mate sombreados - adensamentos .....	33

Sistemas de erva-mate sob pleno sol .....	36
Indicadores financeiros .....	40
Considerações sobre os resultados financeiros .....	41
Análise crítica da relação entre estoque de carbono e viabilidade financeira .....	42
Implicações no planejamento e manejo dos sistemas de produção de erva-mate.....	43
Sombreamento .....	43
Densidade de plantas.....	44
Adubação .....	44
Sistema de poda e Intervalo entre colheitas .....	45
Outras práticas de manejo .....	46
Potencial de mitigação de CO <sub>2</sub> .....	46
Proposta de planejamento de sistemas de produção de erva-mate com foco em carbono e retorno financeiro .....	47
Necessidade de futuros estudos .....	48
Agradecimentos.....	49
Referências .....	50

## Introdução

Na região Sul do Brasil, o principal produto florestal não madeireiro é a erva-mate, que representa uma parcela considerável da renda para muitos agricultores familiares (Goulart et al., 2022). No Brasil, a área total de produção de erva-mate cultivada está dividida entre os cultivos sob pleno sol e os cultivos sombreados, que podem ser adensamentos com erva-mate sob remanescentes de florestas nativas do Bioma Mata Atlântica (Floresta com Araucária) ou ainda ervais arborizados (Goulart, 2020; Croge et al., 2021). A produção envolve, na sua maior parte, pequenos produtores com perfil de agricultura familiar e, em menor escala, médios e grandes produtores (Goulart, 2020). Nos segmentos da agroindústria e de mercado, destacam-se as indústrias ervateiras da região Sul, principalmente com produtos como erva-mate para chimarrão, onde concentra-se a maior parte da demanda do mercado, além de outros usos em expansão, como chás, bebidas energéticas e derivados (Bracesco et. al., 2011; Gan et al., 2018).

Segundo os últimos dados disponíveis da Produção Agrícola (IBGE, 2021), em 2021 o Brasil produziu 557.987 t em uma área colhida de 68.616 ha de ervais sob pleno sol, tendo uma produtividade média de 8.132 kg/ha, com valor da produção de R\$ 723.760.000 (Produção Agrícola Municipal - PAM). Os estados do Rio Grande do Sul e Paraná são os principais produtores, sendo o RS com 242.018 t (PAM), representando 43,4% da produção, e o estado do PR foi responsável por 42,6%, com uma produção de 238.110 t (Pereira, 2022). Por outro lado, em ervais sombreados, os dados apontam um total de 506.134 t produzidas no Brasil, sendo o Paraná com 87,5% desta produção (IBGE, 2021). Ainda no Paraná, a cultura da erva-mate responde por 18% dos produtos florestais, correspondendo a 87% do VBP de produtos não madeireiros (Pereira, 2022).

Apesar da importância da erva-mate e seus produtos para as regiões produtoras e seus benefícios aos consumidores, poucos estudos avaliam aspectos relacionados à gestão financeira dos ervais e como os diferentes sistemas de produção afetam o retorno desses empreendimentos.

Além disso, demandas recentes têm requisitado maior entendimento sobre a relação da produção da erva-mate com a mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE), mediante o armazenamento de carbono, visto que a erva-mate é uma espécie perene que acumula, em sua biomassa de raízes, galhos e troncos, substancial quantidade de carbono orgânico, o qual também é armazenado no solo, em volumes consideráveis.

Nesse sentido, surgem as questões: como produzir erva-mate de forma a favorecer o balanço de carbono nos diferentes sistemas de produção e, ao mesmo tempo, gerar renda aos produtores? Este trabalho teve o objetivo de responder a este questionamento, tendo como base sistemas de produção de erva-mate praticados no Sul do Brasil, em áreas de produtores rurais.

### **Erva-mate na agenda climática**

A produção de erva-mate em sistemas agroflorestais foi elencada como um processo tecnológico dentro do Plano ABC (Rachwal et al., 2021), capaz de contribuir com a mitigação da emissão de GEE. No entanto, é necessário o desenvolvimento de indicadores e fatores de emissão próprios dos sistemas de produção de erva-mate, garantindo a representação do sistema produtivo e a realidade nacional.

Além do aspecto mitigador direto pelo carbono contido na biomassa, o cultivo de erva-mate contribui para a preservação de remanescentes de Florestas com Araucária e com a conservação genética dessa espécie (Gaiad, 2010), que amplia os benefícios do sistema produtivo quando associado à

floresta nativa. Essa combinação também permite a exploração sustentável da erva-mate em áreas de reserva legal e de proteção ambiental, garantindo o serviço ecossistêmico de estocagem de carbono (Alegre et al., 2007; Palacios, 2010), com baixa emissão de carbono, devido à baixa demanda de produtos químicos (Medrado; Vilcahuamán, 2014).

A exploração da erva-mate considera podas das folhas e de ramos finos de forma parcial (Penteado e Goulart, 2019), assim as porções lenhosas do tronco e das raízes mantidas contribuem para o estoque de carbono na biomassa vegetal, podendo superar 85% da biomassa total das árvores quando os plantios têm mais de 25 anos (Alegre et al., 2007). No total, a biomassa aérea da erva-mate pode armazenar mais de 85 t ha<sup>-1</sup> de carbono na forma de CO<sub>2</sub> (Alegre et al., 2007), garantindo a permanência deste carbono no ecossistema. Além disso, o estímulo ao crescimento da árvore pela retirada parcial da parte aérea, associada ao não revolvimento do solo, devido à perenidade do cultivo, favorece o acúmulo de carbono na biomassa vegetal e também no solo (Palacios, 2010).

Esse cenário representa um estímulo e uma oportunidade de se convergir esforços, para que a erva-mate passe a cumprir um papel relevante no enfrentamento da mudança climática. O reconhecimento do potencial de estocar carbono mediante práticas de manejo adequadas pode trazer rentabilidade aos sistemas de produção sustentáveis. Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo determinar o estoque de carbono em sistemas de cultivo de erva-mate e verificar de que maneira as características e o manejo adotado nestes sistemas afetam os estoques de carbono na vegetação e no solo, e quanto contribuem para a redução da emissão de gases de efeito estufa e no controle da mudança do clima.

### **Viabilidade financeira da erva-mate**

De forma geral, verifica-se que existe uma carência de informações sobre análise e indicadores financeiros nos cultivos de erva-mate. Porém, as informações advindas desse tipo de análise são fundamentais para a melhoria da gestão nas propriedades rurais.

A análise financeira examina os custos e benefícios em relação aos preços de mercado e determina suas relações com diferentes indicadores, permitindo avaliar a viabilidade de um empreendimento ou projeto (Santos et al., 2002; Mendes, 2004). Ao realizar a análise financeira, o produtor é informado sobre quando e quanto deve investir ou receber de um projeto, considerando os fluxos de entrada e saída de recursos ao longo do tempo. Isso permite mensurar as atividades produtivas, o fluxo real de custos e receitas durante o período analisado, bem como o balanço final das operações.

Os principais critérios a serem considerados para a elaboração da análise financeira são os seguintes:

- 1) Estabelecer critérios de decisão de acordo com as possibilidades do produtor e da realidade local. Ao avaliar a análise financeira, o produtor deve identificar os diferentes custos das atividades agrícolas, bem como o tempo de retorno do investimento. Isso permite, se necessário, realizar alterações como inclusão ou exclusão de alguns indivíduos de espécies “não-erva”, formas de preparo da área e implantação, tipos de insumos (sementes, mudas e fertilizantes) ou equipamentos e maquinários utilizados nos sistemas de produção.
- 2) Definir a rentabilidade financeira do projeto. Ao comparar os resultados da análise financeira com outros investimentos, o produtor terá opções para escolher qual atividade é mais rentável. Essa comparação permite a tomada de decisão em relação à diversificação da produção e alteração de atividades de acordo com o mercado.

- 3) Avaliar as opções de manejo do sistema. É possível planejar a contratação de mão de obra, indicando a época do ano de maior demanda e o número de trabalhadores necessários para realizar as práticas de manejo das culturas agrícolas, como preparo de solo, plantio, adubação, desbastes, podas de formação, coroamentos e colheitas.
- 4) Definir políticas de incentivo. A análise financeira auxilia as instituições financeiras na abertura de linhas de crédito para a implantação de diferentes sistemas produtivos. Considerando que existem linhas específicas, como o Pronaf, voltadas para a agricultura familiar, a análise financeira é fundamental para auxiliar e incentivar os produtores em pequenas propriedades, uma vez que apresenta coeficientes técnicos e indicadores financeiros específicos para os SAFs analisados, tais como custos de implantação, receitas geradas e tempo necessário para o retorno do investimento.

Neste sentido, o presente estudo também teve como objetivo realizar uma análise de viabilidade financeira de duas categorias de sistemas de produção de erva-mate (sombreados e sob pleno sol), considerando diferentes perfis socioeconômicos de produtores e tomando como base experiências e sistemas típicos adotados na região sul do Paraná, nos municípios de Cruz Machado e Bituruna.

## Metodologia

### Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido na região sul do estado do Paraná, nos municípios de Cruz Machado (26° 01' 01" S e 51° 20' 49" O a 950 metros de altitude) e Bituruna (26° 9' 41" S e 51° 33' 11" O a 865 metros de altitude).

O clima é Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb), com verões frescos (temperatura média inferior a 22° C), e invernos com ocorrência de geadas severas e frequentes (temperatura média inferior a 15° C), não apresentando estação seca. A precipitação pluviométrica anual apresenta valores entre 1.250 mm e 2.000 mm ano<sup>-1</sup>, sendo que os meses mais chuvosos são novembro, dezembro e janeiro.

A vegetação nativa é a Floresta Ombrófila Mista. Os solos nessa região são derivados de rochas eruptivas básicas do derrame do Trapp, que se caracteriza por rochas magmáticas ricas em ferro imprimindo ao solo cores avermelhadas e teores de argila mais elevados.

### Seleção de sistemas de produção de erva-mate

Foram selecionadas quatro propriedades, considerando os seguintes fatores: que a conversão do solo da vegetação original para o cultivo de erva-mate tivesse ocorrido há mais de 10 anos em pequenas ou médias propriedades com até 15 módulos fiscais, sob o mesmo tipo climático, solos com características similares e faixas de idade das árvores de erva-mate.

Essas propriedades apresentaram sistemas de produção de erva-mate representativos (Figura 1) com diferentes densidades de árvores, intensidades de luz e níveis tecnológicos, que serão detalhados na seção 2.3, conforme a seguinte categorização:

- a) Adensamento de erva-mate com baixo nível de sombreamento;
- b) Adensamento de erva-mate com nível muito alto de sombreamento;

- c) Erva-mate sob pleno sol/sombreamento nulo com cobertura de solo (azevém nas entre linhas de erva-mate);
- d) Erva-mate sob pleno sol/sombreamento nulo sem cobertura de solo;
- e) Erva-mate sob pleno sol/sombreamento nulo com serapilheira.

## Caracterização dos solos

### Granulometria e densidade do solo

Para a determinação da granulometria do solo foram coletadas amostras deformadas nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm nas trincheiras abertas. As amostras foram secas em estufa sob temperatura de 40 °C, destorroadas e passadas em peneira de malha 2 mm. A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta proposto por Teixeira et al. (2017). A massa de 20 g de solo foi agitada em 200 mL de solução dispersante composta por NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e Na<sub>6</sub>[(PO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>] 0,02 mol L<sup>-1</sup>. Após 16 horas sob agitação, a amostra é lavada em peneira de 0,053 mm, de modo que a areia fica retida na peneira e o silte e argila são coletados em proveta de 1 L, simultaneamente à peneiração da areia. O volume da pipeta é completado com água deionizada até atingir o volume total de 1 L e agitada vigorosamente por 1 min usando bastão com tampa de borracha. Após, pipeta-se de cada amostra 25 mL da suspensão de silte + argila e, depois do tempo de sedimentação do silte (tabelado), insere-se a pipeta a 5 cm de profundidade na proveta e coleta-se 25 mL da suspensão de argila. Ambas as suspensões contidas em beckeres foram colocadas na estufa. Após saírem da estufa as amostras foram pesadas, transformando-se os pesos em porcentagem de areia, silte e argila.

Nas mesmas profundidades foram coletadas amostras indeformadas em cilindros volumétricos com capacidade de 100 cm<sup>3</sup>, para a determinação da densidade do solo. Os cilindros com o solo coletado no campo receberam toailete completa para retirar o excesso de solo do cilindro e, na sequência, foram secos em estufa sob temperatura de 105 °C, por 48h. A densidade do solo foi calculada pela relação de massa de solo seco e o volume de solo (que coincide com o volume do cilindro).

### Atributos químicos

Os atributos químicos quantificados foram o teor dos elementos cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al) e potássio (K) trocáveis, fósforo (P) e ainda a acidez potencial (H+Al). Para a extração dos três primeiros elementos, usou-se solução de cloreto de potássio sendo, posteriormente, quantificados por titulação. O fósforo (P) foi extraído com solução Mehlich e determinado pelo método espectrofotométrico com molibdato, enquanto o potássio (K) também passou por extração com solução Mehlich, tendo sido quantificado por fotometria de chama. O H+Al foi obtido por medição indireta via pH SMP. Todos os procedimentos seguiram a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017).

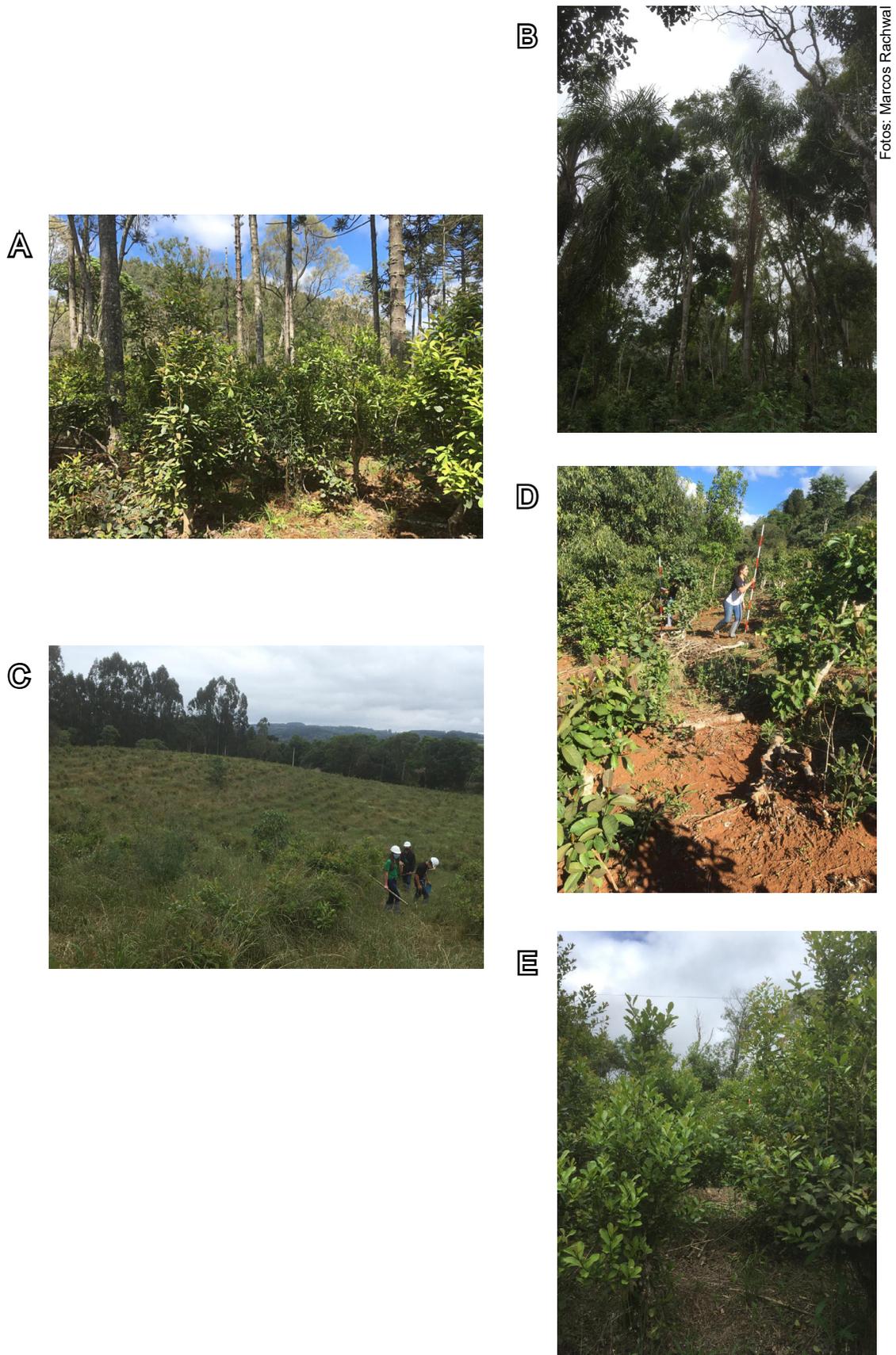
A saturação por bases (V, %) foi calculada pela fórmula seguinte:

$$V = \frac{S}{T} * 100, \text{ onde:}$$

V= saturação por bases

S= soma de bases (Ca+Mg+K)

T= capacidade de troca de cátions (S+H+Al).



**Figura 1.** Imagens representativas dos sistemas produtivos avaliados. (A) Adensamento com nível baixo de sombreamento. (B) Adensamento com nível muito alto de sombreamento. (C) Sob pleno sol e com cobertura de solo. (D) Sob pleno sol e sem cobertura de solo. (E) Sob pleno sol e com serapilheira.

A saturação por alumínio (m, %) foi calculada pela fórmula

$$m = \frac{Al}{(S+Al)} * 100 \text{ onde:}$$

$$m\% = Al/(S+Al)*100$$

S= soma de bases (Ca+Mg+K)

Al= concentração de alumínio trocável.

As classes de solos dos diferentes sistemas de produção utilizados são apresentadas adiante (Tabela 1).

**Tabela 1.** Classes de solos dos sistemas de produção utilizados.

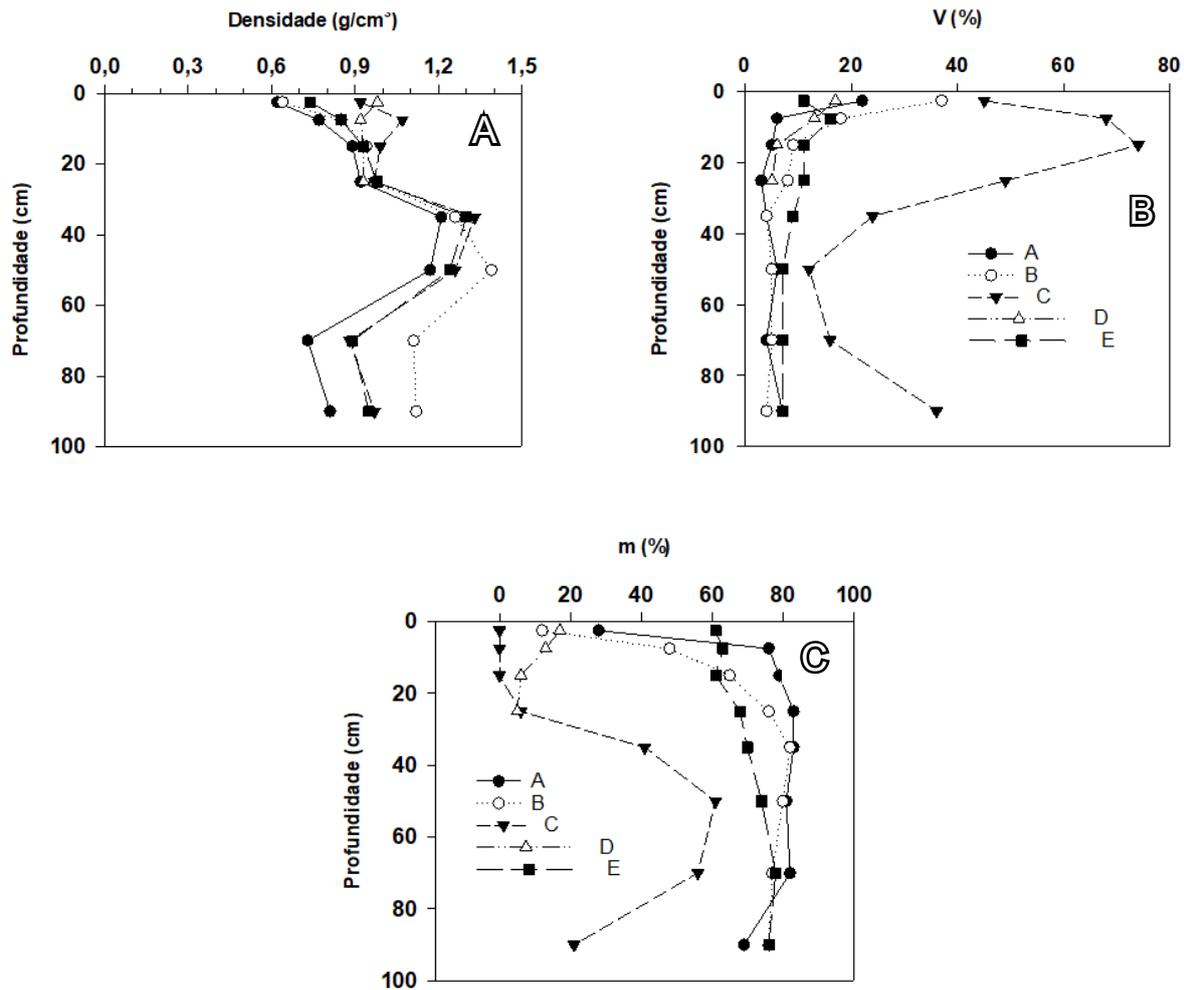
Sistemas de produção	Classes de solos
A	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO férrico profundo álico A proeminente textura muito argilosa relevo suave ondulado
B	CAMBISSOLO pouco profundo álico epidistrófico A moderado textura muito argilosa relevo ondulado
C	CAMBISSOLO profundo álico epieutrófico A proeminente textura muito argilosa relevo suave ondulado
D	NITOSSOLO HÁPLICO profundo álico A moderado textura muito argilosa relevo forte ondulado
E	CAMBISSOLO profundo álico A proeminente textura muito argilosa relevo suave ondulado

Obs.: A espessura dos horizontes superficiais A dos sistemas foi 30 cm nos sistemas A, B e D, 40 cm no sistema E e 50 cm no sistema C.

Nas Figuras 2 e 3 são apresentados os atributos dos solos dos sistemas de produção.

Os valores de densidade do solo (Figura 2A) indicam que, em nenhum dos sistemas de produção, o solo apresenta compactação, com valores abaixo de 1,4 g cm<sup>-3</sup>. Os sistemas de produção menos intensivo (A, B e E), nos quais o tráfego de maquinário é reduzido, mostraram menores densidades. No perfil do solo, as maiores densidades foram encontradas nas profundidades de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm nas propriedades C e D, nas quais foi maior o tráfego sobre o solo, com valores entre 0,92 g cm<sup>-3</sup> e 1,07 g cm<sup>-3</sup>. Nos sistemas de produção com manejo menos intensivo (A, B e E), a densidade variou entre 0,62 g cm<sup>-3</sup> e 0,85 g cm<sup>-3</sup>. Na profundidade de 10 a 20 cm e de 20 a 30 cm, os valores se apresentaram muito semelhantes em todas as propriedades, oscilando entre 0,89 g cm<sup>-3</sup> e 0,99 g cm<sup>-3</sup>. É interessante lembrar que, por ser uma espécie florestal nativa, a erva-mate se beneficia das condições agronômicas favoráveis, tais como menor densidade e maior porosidade do solo, encontradas sob condições naturais.

Os valores de saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) são apresentados na Figura 2B e 2C, respectivamente. O enquadramento dos níveis de V% e m% foi feito seguindo as classes propostas pela Moreira et al. (2017). Foram observadas algumas diferenças no valor de V% entre as propriedades estudadas. As propriedades A e B apresentaram valor baixo e médio, respectivamente, na profundidade de 0 a 5 cm. Os maiores valores de saturação por bases foram encontrados na propriedade C, praticamente em todas as profundidades com saturação por bases média, nas profundidades de 0-5 cm, 20-30 cm e 80-100 cm, alta, com caráter eutrófico (V > 50%) nas camadas de 5-10 cm e 10-20 cm e baixa na profundidade de 30 a 40 cm. Em todas as outras propriedades e demais profundidades, a saturação por bases foi muito baixa, mostrando o caráter distrófico (V < 50%), oscilando entre 3% e 37%.



**Figura 2.** Densidade de solo (A); saturação por bases (B) e por alumínio (C) no perfil do solo dos sistemas de produção de erva-mate. A- Adensamento com nível baixo de sombreamento. B- Adensamento com nível muito alto de sombreamento. C- Sob pleno sol e com cobertura de solo. D- Sob pleno sol e sem cobertura de solo. E- Sob pleno sol e com serapilheira.

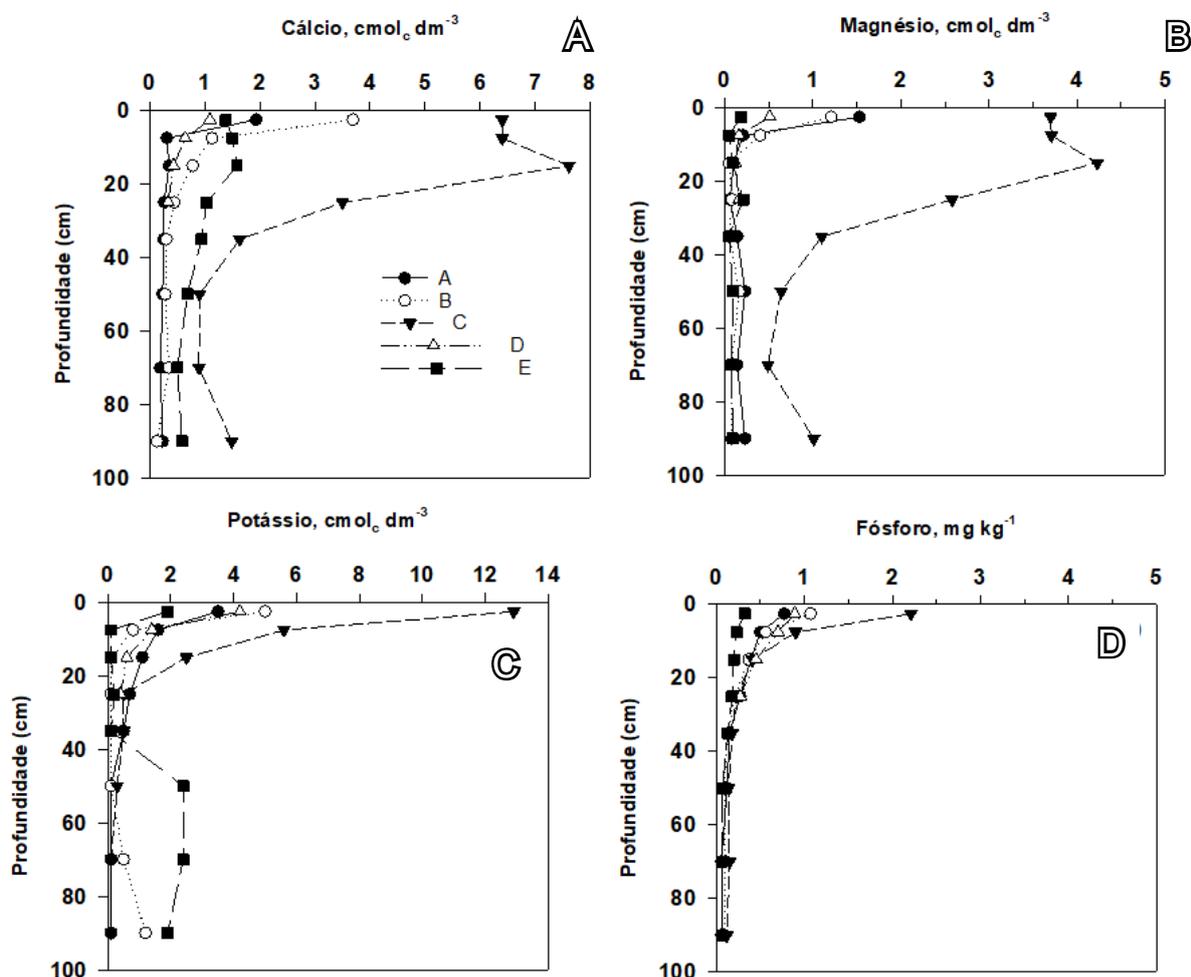
A saturação por alumínio (m%) também mostrou algumas diferenças nas propriedades analisadas (Figura 2C). Chama a atenção a ausência de alumínio trocável (m% = 0) nas camadas de 0 cm a 30 cm na propriedade C, provavelmente indicando a calagem como prática de manejo, o que é reforçado também pelos maiores níveis de cálcio (Figura 3A). Nessa mesma propriedade, a saturação foi muito baixa, embora nas profundidades de 30 cm a 100 cm a saturação tenha sido alta e muito alta. Registrou-se saturações altas nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm, respectivamente, nas propriedades A e B e de 30-40 cm e 80-100 cm na propriedade C. Na propriedade D a saturação por alumínio foi média nas camadas de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm e baixa nas profundidades de 10 a 20 cm e de 20 a 30 cm. Nas demais profundidades e propriedades a saturação foi muito alta.

O teor de cálcio no solo (Figura 3A) foi muito alto até 20 cm de profundidade e alto na camada de 20 a 30 cm, no sistema de produção C. O sistema de produção B também mostrou alto teor de Ca na profundidade de 0 a 5 cm. Teores médios ocorreram no sistema de produção A e D (0-5 cm), B (5-10 cm), C (30-40 cm e 80-100 cm) e E (0-20cm). No sistema de produção B (10-20 cm), C (40-80 cm), D (5-10 cm) e E (20-100 cm), a concentração de cálcio foi baixa. Finalmente, teores muito baixos foram encontrados nos sistemas de produção A (5-100 cm), B (20-100 cm) e D (10-30 cm), denotando a pobreza em Ca nas camadas mais profundas do solo.

A concentração de magnésio (Figura 3B) foi muito alta somente no sistema de produção C (0-30 cm) e alta nas propriedades A e B (0-5 cm) e C (30-40 cm). Os teores apresentaram-se médios nas propriedades C (40-100 cm) e D (0-5 cm), sendo que, nos sistemas de produção não citados acima, as concentrações foram baixas e muito baixas.

As concentrações de potássio (Figura 3C) foram muito altas, principalmente, e altas, até 30 cm, em todas as propriedades.

Com relação ao fósforo (Figura 3D), a situação foi bem diferente, apresentando valores muito baixos em, praticamente, todas as profundidades do solo, independente do sistema de produção, exceto na propriedade C cujo valor foi satisfatório, pelo menos nas camadas superficiais.



**Figura 3.** Atributos de químicos no perfil do solo dos sistemas de produção de erva-mate. Cálcio (A); Magnésio (B); Potássio (C) e Fósforo (D). A- Adensamento com nível baixo de sombreamento. B- Adensamento com nível muito alto de sombreamento. C- Sob pleno sol e com cobertura de solo. D- Sob pleno sol e sem cobertura de solo. E- Sob pleno sol e com serapilheira.

## Determinação dos estoques de carbono na biomassa e no solo

### Carbono na parte aérea e raízes

O carbono da vegetação compreende o C contido na biomassa aérea, nas raízes e também na serapilheira. O carbono da vegetação foi estimado tanto nas plantas de erva-mate como nas demais

espécies de árvores da Floresta Ombrófila Mista, dependendo do sistema de produção.

Para determinar o carbono contido na biomassa aérea da erva-mate foram delimitadas parcelas representativas de 30 m x 20 m, nas quais foi mensurada a altura para estimar a biomassa pela equação proposta por Alegre et al., (2007), que considera a idade, a altura e a biomassa das folhas (Eq. 1). Para a quantificação da biomassa aérea das espécies arbóreas que não são erva-mate foram medidos na mesma parcela, a altura e o diâmetro à altura do peito (DAP) de todas as árvores. Para estimar a biomassa das árvores da floresta Ombrófila Mista, utilizou-se a equação de Ratuchne (2010), que combina altura e diâmetro, conforme expressa a Eq. 2.

$$Biomassa \left( \frac{Mg}{ha} \right) = 0,1255 + 0,8081 * I + 3,9672 * h + 3,6923 * bf \quad Eq.1$$

$$Biomassa \left( \frac{Kg}{\text{árvore}} \right) = 0,317 * d^2 + 0,009 * d^2 * h \quad Eq.2$$

onde:

I = idade do erval em anos

h = altura da árvore, no caso da erva-mate antes da poda, em metros (Eq 1) e altura de árvores de outras espécies (Eq. 2).

bf = produtividade da biomassa extraída do erval na forma seca (kg/ha/ano)

d = diâmetro a altura do peito (cm)

Para a conversão de biomassa de erva-mate e da floresta em estoque de carbono, usou-se o fator do Intergovernmental Panel on Climate Change (Eggleston et al, 2006), o qual sugere, de forma conservadora, que 47% da biomassa vegetal é formada por carbono.

A partir do carbono contido na parte aérea, foi estimado o carbono contido no sistema radicular, considerando o valor R, que relaciona o conteúdo de C na raiz com o conteúdo de C na parte aérea. O valor R adotado (0,7) para a erva-mate foi aquele mesmo usado por Marcos et al. (2020) e para as demais espécies da Floresta Ombrófila Mista adotou-se o valor 0,24 sugerido por Mokany et al. (2006).

#### Carbono na serapilheira

Para o cálculo do estoque de C na serapilheira foram coletadas, em cada sistema de produção, 15 amostras do material depositado sobre o solo, por meio de um gabarito de madeira com 0,09 m<sup>2</sup> de área (0,35 m x 0,35 m). O material coletado no campo foi seco em estufa sob temperatura de 65 °C até peso constante, para obtenção da massa seca. Posteriormente, a massa seca foi moída e a concentração de C foi determinada mediante uso do analisador automático CHNS modelo Vario Macro Cube da Elementar, disponível no Laboratório de Ciclos Biogeoquímicos da Embrapa Florestas, em Colombo, Paraná. Transformando o peso seco da amostra coletada no gabarito, para o equivalente em hectares e multiplicando-o pela concentração de C na amostra, obteve-se o estoque total de C no compartimento serapilheira, em toneladas por hectare.

## Carbono do solo

Amostras de solo foram coletadas em diferentes posições nos ambientes de estudo. A coleta de solo para a obtenção das amostras foi feita por meio de trincheiras e também por gradagem. Nestas trincheiras foram coletadas amostras deformadas nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm. As amostras foram trazidas ao laboratório e, após secagem sob temperatura de 40 °C, moídas finamente em almofariz para 0,25 µm, para a análise do teor de C. A porcentagem de C na amostra foi obtida por meio do analisador automático CHNS modelo Vario Macro Cube da Elementar.

O estoque de carbono foi calculado pelo método da massa equivalente de solo, seguindo procedimentos descritos por Sisti et al. (2004). Foram calculados os estoques de C nas camadas de solo integral de 0-100 cm e de 0-30 cm, e individualmente nas camadas de solo amostradas. Para este cálculo, multiplicou-se a concentração de C (%) pela densidade e pela espessura (m) de cada camada.

## Carbono ecossistêmico

O estoque de carbono ecossistêmico é obtido pela soma dos estoques de carbono da vegetação, que incluem biomassa aérea, raízes e serapilheira, com o estoque de carbono do solo.

## Caracterização dos sistemas de produção de erva-mate

As práticas de manejo são importantes e definem as fontes de emissão ou captura de CO<sub>2</sub> e, além disso, afetam a produtividade e renda dos ervais. Nesse sentido, os sistemas de produção de erva-mate foram caracterizados com base em coeficientes técnicos coletados nas propriedades, por entrevista com os produtores ou avaliações no campo.

### a) Dados coletados por meio de avaliação no campo:

- I. Altura média das plantas de erva-mate com régua telescópica;
- II. Altura média das árvores de outras espécies com régua telescópica;
- III. DAP médio das árvores de outras espécies com paquímetro;
- IV. Percentual de sombra no sistema por meio do inventário da vegetação;
- V. Densidade de plantio também por meio do inventário da vegetação.

### b) Dados coletados por meio de entrevistas com produtores:

- I. Produção de biomassa declarada;
- II. Idade das plantas de erva-mate;
- III. Sistema de poda;
- IV. Resíduo da poda mantido na área/queimado/removido);
- V. Práticas de manejo do solo (controle de vegetação espontânea químico/ mecânico/ cobertura solo/*mulching*);
- VI. Preparo entrelinha mecanizado ou não;
- VII. Utilização de fertilizantes (adubo orgânico, adubo mineral, calcário).

Os sistemas de cultivo de adensamentos de erva-mate, utilizam espécies nativas no extrato superior ou dossel, com espaçamentos da erva-mate que variam de 2,0 m x 2,0 m a 1,8 m x 1,2 m e espaçamento das espécies nativas em torno de 8 m x 8 m. Nestes sistemas são utilizadas práticas de manejo convencionais em graus variáveis, mais ou menos intensos, como adubação, manejo de plantas daninhas e pragas, que interagem com o sombreamento. Em geral, o mercado tem uma preferência por erva-mate oriunda de ervais sombreados. Apresentam práticas que variam de acordo com o perfil do agricultor, sendo a poda de colheita realizada conforme a taxa de crescimento da erva-mate, comumente realizada entre 2 e 3 anos, além do manejo eventual das outras espécies arbóreas, em relação ao controle da densidade e sombreamento.

Os sistemas de produção sob pleno sol não possuem a presença de outras espécies arbóreas e os espaçamentos de plantio da erva-mate podem ser 3,0 m x 2,0 m; 1,5 m x 1,2 m e 2,0 m x 1,0 m. Nestes sistemas o plantio e o manejo da erva-mate são convencionais, podendo haver adoção de práticas de manejo e tecnologias de produção mais intensivas (uso de variedades selecionadas, preparo de solo e plantio, controle de plantas daninhas, adubação, poda de formação e colheita) de acordo com o perfil do produtor.

Na Tabela 2 encontram-se as principais características que descrevem os sistemas de produção estudados.

**Tabela 2.** Características dos sistemas de produção

Características	Sistema de cultivo				
	A	B	C	D	E
Nível de sombreamento	Baixo	Muito Alto	Nulo	Nulo	Nulo
Densidade de árvores não erva/ha	194	600	0	0	50
Idade do erval (anos)	10	9	10	18	12
Altura das ervas (m)	2,45	1,31	1,01	1,31	2,55
Biomassa de folha (t/ha/ano)	2,8	1,5	9,85	14,0	13,1
Densidade de plantio (1 ha)	2.500	4.600	3.333	5.555	2.500
Espaçamento (m)	2,0 x 2,0	1,8 x 1,2	3 x 1	1,5 x 1,2	2,0 x 2,0
Densidade de plantio (5 ha)	12.500	23.000	16.667	27.778	12.500
Intervalo de colheita (meses)	24	24	24	24	18
Produtividade potencial (t/ha)	10,0	7,0	18,0	28,0	18,0

Obs.: No sistema C a cobertura do solo foi mantida com azevém durante os dez anos de uso e no D o solo foi deixado descoberto por 18 anos. A- Adensamento com baixo nível de sombreamento. B- Adensamento com nível muito alto de sombreamento. C- Sob pleno sol e com cobertura de solo. D- Sob pleno sol e sem cobertura de solo. E- Sob pleno sol e com serapilheira. A Biomassa de folhas foi estimada com o valor da produção do ciclo produtivo atual ou mais recente. A produtividade potencial refere-se à produtividade mais elevada que foi obtida, considerando todos os ciclos produtivos do erval. Os níveis de sombreamento foram determinados com base nas classes seguintes, sendo que o número de árvores/hectare, de espécies não erva, entre parêntesis, foi obtido no inventário realizado no campo: Sob pleno sol (0), Muito baixo (1 - 100), Baixo (101 - 200), Médio (201 - 300), Médio/alto (301 - 400), Alto (401 - 500) e Muito alto (> 500).

## Análise de viabilidade financeira

### Indicadores financeiros avaliados

Para a avaliação da viabilidade financeira dos sistemas com erva-mate neste estudo, foram considerados os seguintes critérios:

- Período de análise: todo projeto deve estabelecer seu ciclo de planejamento. Neste estudo definiu-se o ciclo de 20 anos devido às práticas de manejo, potencial produtivo ao longo do

tempo e ciclo de vida da erva-mate. Desta forma, a análise financeira consegue abordar todas as fases de crescimento e maturação da cultura da erva-mate;

- Dimensão da área de estudo, unidade de inversão ou moeda (em reais) e a taxa de juros: o tamanho da área de estudo foi definido em 5 ha, observando-se a estrutura fundiária, as características e perfil das propriedades rurais da região, demanda de mão de obra dos agricultores e o processo de comercialização da erva-mate. Áreas menores ou maiores de 5 ha não estariam de acordo com a realidade do agricultor na região avaliada;
- A taxa de juros ou de desconto é o valor do uso do dinheiro ou da moeda. Neste estudo a taxa de juros foi definida em 6% a.a., necessária para aferir o ganho ou perda com o uso de recursos financeiros durante determinado período de tempo, ou o que se paga pela obtenção de recursos de terceiros (empréstimos) durante determinado período;
- Fluxo de custos e ingressos: esta é a etapa que requer mais tempo e labor para a sua realização, exigindo a elaboração de planilhas de custos e ingressos de todas as atividades inerentes ao projeto. Os valores referentes aos cálculos de rendimento da mão de obra em cada atividade foram convertidos em diárias, ou seja, em quantas horas ou dias o agricultor foi capaz de realizar uma determinada atividade. Os ingressos do projeto foram medidos por meio do cálculo da produtividade da erva-mate e seu preço de venda.

Durante o processo de planejamento e elaboração da análise financeira, os indicadores financeiros utilizados para verificar a rentabilidade e, conseqüentemente, a viabilidade do projeto foram:

- Valor Presente Líquido (VPL): este indicador apresenta os valores líquidos no instante considerado inicial, a partir de um fluxo de caixa formado por uma série de receitas e custos (Hirschfeld, 1998);
- Relação Benefício Custo (B/C): divide os benefícios atualizados pelos custos atualizados, indicando quanto os benefícios superam ou não os custos totais;
- Taxa Interna de Retorno (TIR): é a taxa de desconto que iguala o valor presente dos ingressos ao valor presente dos custos, ou seja, iguala o VPL a zero. Também pode ser entendida como a taxa percentual do retorno do capital investido. A TIR é uma demonstração da rentabilidade do projeto (Buarque, 1984);
- Tempo de Retorno do Investimento (TRI): consiste em determinar quanto tempo de funcionamento será necessário para que o projeto permita aos investidores o retorno do capital investido. O TRI equivale ao inverso da rentabilidade simples (Hirschfeld, 1998);
- Valor Atual dos Custos (VAC): consiste em determinar o valor atualizado dos custos, de acordo com a taxa de juros utilizada, durante um determinado período de avaliação;
- Valor Atual das Receitas (VAR): consiste em determinar o valor atualizado das receitas, de acordo com a taxa de juros utilizada, durante um determinado período de avaliação.

#### Análise dos dados

Para a análise financeira dos sistemas foi utilizada a planilha AmazonSAF versão 11, desenvolvida e fornecida pela Embrapa (Arco-Verde; Amaro, 2021). É importante salientar que os projetos foram analisados em um período de 20 anos em áreas de 5 ha, com fluxo de caixa a preços constantes. A taxa de desconto/juros real utilizada foi 6% ao ano (a.a.).

O custo com a mão de obra foi calculado de acordo com os valores pagos no município, R\$ 100,00 por diária, referente a 8 h de trabalho.

Os coeficientes técnicos determinados para as atividades e os indicadores financeiros gerados pela planilha AmazonSAF foram validados pelos próprios agricultores em reuniões, oficinas e dias de campo.

### **Definição de critérios para realizar a análise de viabilidade financeira**

A metodologia utilizada para a realização da análise financeira considerou as atividades de mão de obra e os insumos requeridos nas diversas fases de implantação e manejo do sistema de produção de erva-mate.

Para preparar o fluxo de custos de mão de obra foram medidos os rendimentos das atividades de amostragem de solo, limpeza da área, roçagem manual, aração, gradagem, aplicação de corretivos e agroquímicos, marcação da área, marcação das linhas de plantio, plantio, replantio, capina, colheita, adubação, preparo de mudas, transporte das mudas, poda/colheita da erva-mate.

Os custos de insumos se referem à compra de sementes, mudas, fertilizantes e defensivos, combustível e ferramentas agrícolas.

Foram utilizados dados reais obtidos de rendimentos medidos diretamente no sistema, durante os primeiros sete a dez anos de implantação (análise ex-post). A partir do oitavo ou décimo primeiro ano e até o vigésimo, as informações referentes à produtividade da erva-mate foram estimadas (análise ex-ante), tendo como pressupostos básicos a manutenção dos valores nominais de preços pagos e recebidos.

Demais valores referentes à estimativa da produtividade e do crescimento dos componentes foram considerados tendo como base os resultados reais dos sete primeiros anos de implantação dos SAFs, dos sistemas de produção avaliados e de outros projetos existentes na região, avaliados em condições edafoclimáticas semelhantes àquelas do presente estudo. Foram estimadas informações referentes ao rendimento da mão de obra e a produtividade de algumas culturas do 12º ao 20º ano.

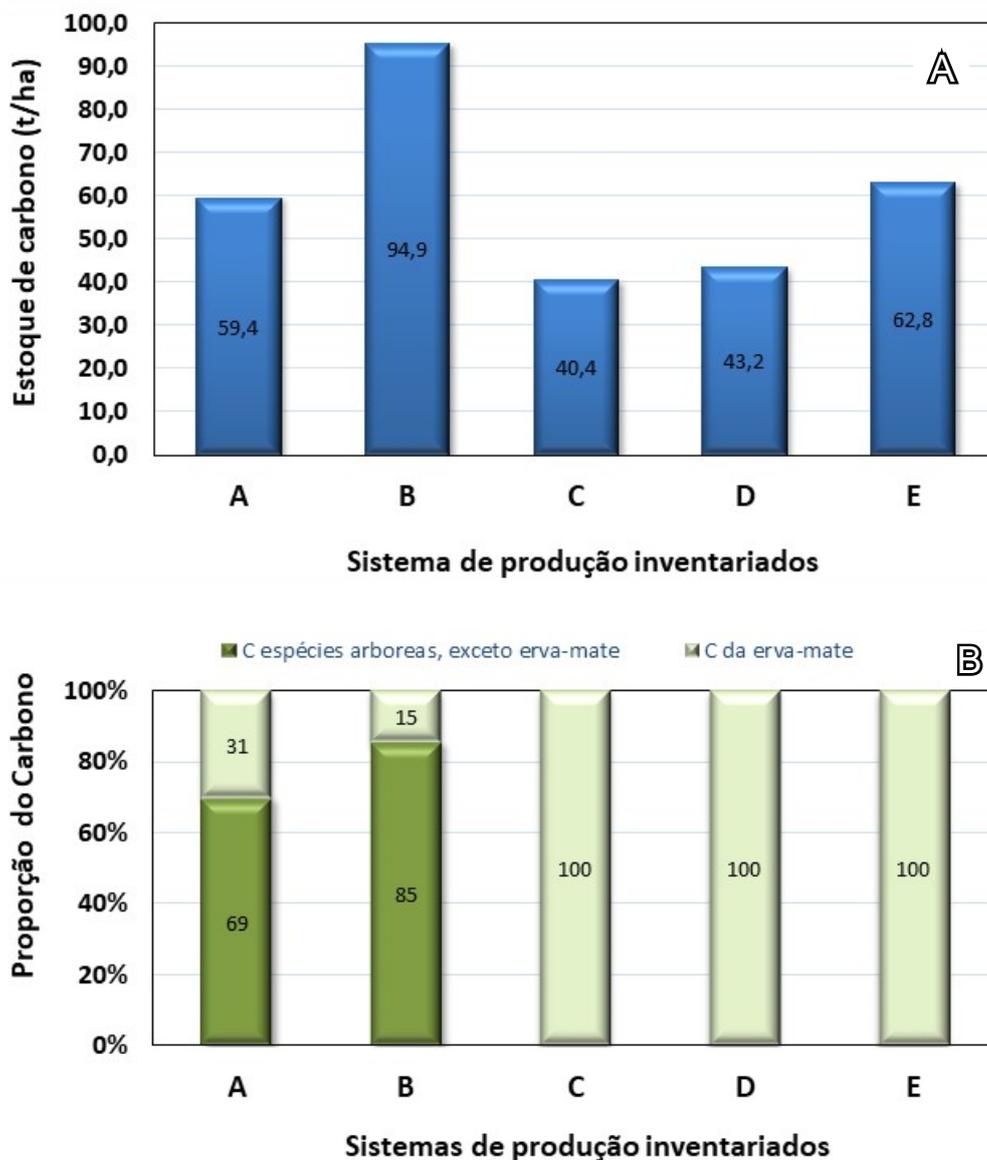
## **Resultados e discussão**

### **Estoques de carbono**

#### Estoque de carbono na biomassa vegetal

O estoque de carbono na biomassa em sistemas de produção de erva-mate variou de 40 tC/ha a 95 tC/ha (Figura 4A). O maior estoque foi observado na propriedade B, onde a produção de erva-mate é combinada à Floresta Ombrófila Mista pelo adensamento. O produtor aproveita as áreas com clareiras e intencionalmente planta mudas de erva-mate. Nessa propriedade em específico, o sistema de produção tem um elevado sombreamento pela presença de espécies arbóreas em maior número que aquele ocorrendo na propriedade A e a densidade de erva-mate na floresta de 4.600 mudas, o que foi inferior ao valor observado na propriedade D. O estoque de C na biomassa vegetal das propriedades A e E foi intermediário, com 59 tC/ha e 63 tC/ha, respectivamente. As propriedades, no entanto, têm sistemas de produção distintos, sendo que a propriedade A tem produção sob adensamento com nível baixo de sombreamento, enquanto a propriedade E tem produção sob

pleno sol; ambas com 2.500 plantas/ha de erva-mate (Tabela 1), mas com destaque para o investimento em qualidade de mudas e manejo do erval na propriedade E. Com média de 45 tC/ha, as propriedades C e D tem produção de erva-mate sob pleno sol, com 3.300 e 5.555 mudas de erva-mate por hectare, respectivamente.



**Figura 4.** (A) Estoque de carbono total absoluto (parte aérea, raízes e serapilheira), e (B) proporção do carbono oriundo da erva-mate e de outras espécies arbóreas, em cinco sistemas de produção nos municípios de Cruz Machado e Bituruna, PR. A- Adensamento com nível baixo de sombreamento. B- Adensamento com nível muito alto de sombreamento. C- Sob pleno sol e com cobertura de solo. D- Sob pleno sol e sem cobertura de solo. E- Sob pleno sol e com serapilheira. Obs.: Os valores dentro das barras referem-se ao estoque de carbono absoluto (Figura 4A) e relativo (Figura 4B).

Os maiores estoques de carbono na biomassa vegetal, nesse estudo, foram obtidos pela maior presença de outras espécies arbóreas, que não a erva-mate, nos sistemas adensados, com contribuições que variaram de 69% a 85%, respectivamente nas propriedades A e B (Figura 4B). No sistema A, o percentual de carbono correspondeu à presença de aproximadamente 194 árvores/ha com diâmetro médio à altura do peito de 23 cm e altura de 11 m (Tabela 3). Nesse caso, 54% do carbono da biomassa de espécies arbóreas que não a erva-mate está contido na espécie *Araucária angustifolia*. No sistema B, a maior contribuição para acúmulo de carbono foi devido à biomassa de palmeiras, seguido de canelas e camboatá.

**Tabela 3.** Inventário de carbono das espécies arbóreas não erva-mate nos sistemas de produção adensado.

Sistemas adensados	Espécies	Número de árvores*	Média de DAP (cm)	Média de Altura (m)	C na vegetação arbórea (t/ha)	% participação
Sistema A	<i>Araucaria angustifolia</i> (araucária)	333	10,9	22,2	20,3	54
	<i>Ocotea puberula</i> (canela-guaicá)	17	16,0	55,8	4,6	12
	<i>Cedrela fissilis</i> (cedro)	17	15,0	49,0	3,5	9
	<i>Trema micrantha</i> (grandiuva)	33	2,5	1,8	0,0	0
	<i>Patagonula americana</i> (guajuvira)	17	13,5	28,2	1,1	3
	<i>Ocotea porosa</i> (imbuia)	17	7,0	18,1	0,4	1
	<i>Sapium glandulatum</i> (leiteiro)	17	13,5	19,0	0,5	1
	<i>Piptocarpha angustifolia</i> (vassourão-branco)	100	10,1	25,5	5,9	16
	sem identificação	33	9,8	21,5	1,4	4
Média sistema A por ha		194	23,3	10,5		
Sistema B	<i>Mimosa scabrella</i> (bracatinga)	8	24,5	12,0	1,2	2
	<i>Cupania vernalis</i> (camboatã-vermelho)	108	18,4	11,4	9,5	13
	<i>Matayba elaeagnoides</i> (camboatã-branco)	8	23,0	10,0	1,0	1
	<i>Nectandra lanceolata</i> (canela-amarela)	50	24,7	13,7	9,0	12
	<i>Ocotea puberula</i> (canela-guaicá)	8	36,0	14,0	2,8	4
	<i>Nectandra megapotamica</i> (canela-preta)	42	35,6	14,8	14,3	19
	<i>Peltophorum dubium</i> (pororoca)	8	19,8	9,0	0,8	1
	<i>Drimys brasiliensis</i> (cataia)	8	19,3	10,0	0,7	1
	<i>Cedrela fissilis</i> (cedro)	8	20,0	12,7	0,8	1
	<i>Eugenia involucrata</i> (cerejeira-do-mato)	25	13,3	11,0	0,11	1
	<i>Solanum mauritianum</i> (fumeiro-bravo)	8	2,5	3,0	0,0	0
	<i>Casearia sylvestris</i> (guaçatunga)	25	16,4	14,4	1,8	2
	<i>Myrcia rostrata</i> (guamirim)	75	11,8	9,7	2,8	4
	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (palmeira-jerivá)	125	28,2	9,9	24,3	32
	<i>Machaerium stipitatum</i> (sapuva)	17	12,6	9,3	0,6	1
sem identificação	75	15,9	8,6	4,8	6	
Média sistema B por ha		600	20,8	10,9		

A - Adensamento com nível baixo de sombreamento. B - Adensamento com nível muito alto de sombreamento.

Nos sistemas sob pleno sol, entretanto, o nível tecnológico foi o fator preponderante para maiores estoques de carbono na propriedade E (Figura 4A), nesse caso, oriundos exclusivamente da erva-mate (Figura 4B). Entre as práticas adotadas na propriedade E que favorecem o acúmulo de carbono estão o uso de material genético de elevado potencial produtivo, a adoção de práticas de manejo tais como a aplicação de insumos biológicos e a manutenção de 20-30% da copa das árvores no momento da colheita. Essas práticas combinadas promovem um diferencial no vigor do erval que favorecem a maior produtividade de biomassa e, conseqüentemente, de carbono no sistema.

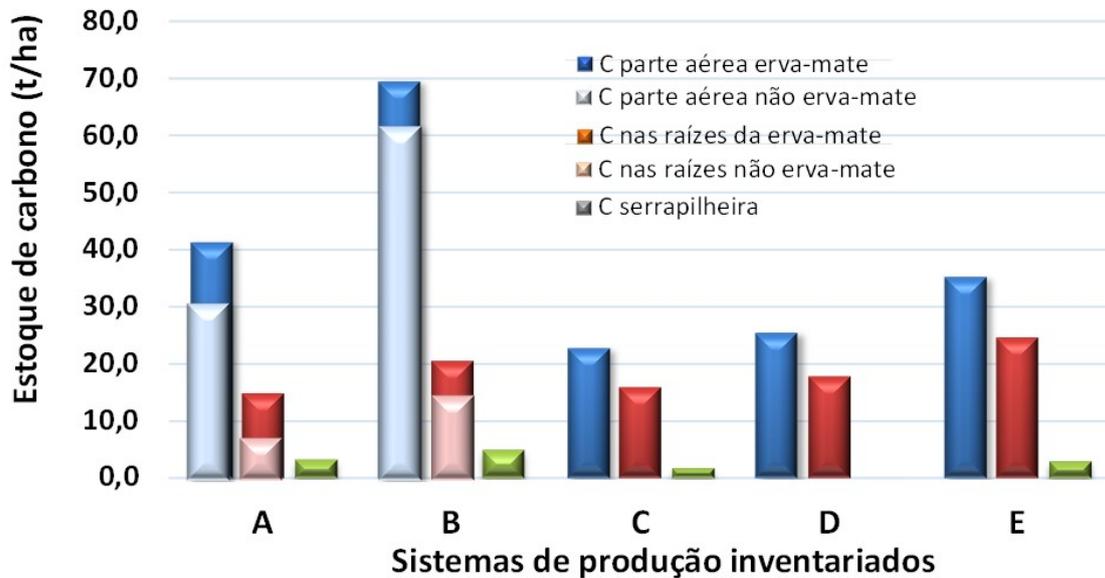
O potencial produtivo do sistema de produção E pode ser comprovado quando se compara a magnitude da produção por árvore, que atinge 5,24 kg nesse sistema, contra 2,5 kg/árvore no sistema D (segundo colocado). Entre os compartimentos da biomassa vegetal inventariados, os maiores estoques de carbono foram encontrados na biomassa da parte aérea, independente da propriedade e do sistema de produção (Figura 5). O segundo maior estoque de carbono foi encontrado no compartimento raiz, com valores chegando a 25 tC/ha, seguido pela serapilheira que contribuiu com menos de 5 tC/ha. Embora possa parecer insignificante, esta massa de material vegetal morto depositado sobre o solo desempenha um papel importante na proteção do solo contra a erosão e altas temperaturas, além de contribuir como fonte de C e de nutrientes para as espécies vegetais. A proteção que oferece contra erosão e altas temperaturas tem papel destacado inclusive na manutenção do carbono nos solos, evitando perdas excessivas pelos processos de decomposição microbiana e remoção do solo por enxurradas.

O carbono da parte aérea assim como carbono das raízes teve origem na cultura da erva-mate tanto quanto nas outras espécies arbóreas associada ao sistema de produção (Figura 5). Nas propriedades A e B, onde o estoque de carbono teve origem na biomassa da erva-mate e também em árvores da Floresta Ombrófila Mista associadas à produção de erva-mate em sistema adensado, ocorreram os maiores teores de carbono da parte aérea, com valores entre 40 tC/ha e 70 tC/ha. Nas propriedades onde a erva-mate foi cultivada sob pleno sol, os estoques de carbono na parte aérea variaram de 23 tC/ha a 35 tC/ha (Figura 5). O carbono das raízes variou de 15 t/ha a 25 t/ha e não diferiu tanto entre os sistemas de produção e propriedades como o estoque de carbono da parte aérea. Isso por que a produção de biomassa radicular da erva-mate é estimulada pelas podas bienais, representando 70% da biomassa aérea (Marcos et al., 2020), enquanto a biomassa das outras espécies arbóreas é contabilizada como 24% do carbono da biomassa aérea.

O maior conteúdo de carbono da parte aérea de erva-mate foi obtido no sistema produtivo da propriedade E, que se caracteriza pela produção sob pleno sol e com nível de investimento em insumos agrícolas e tecnológicos significativo. Nos demais sistemas de produção sob pleno sol (C e D), a erva-mate armazenou estoques de 23 tC/ha a 25 tC/ha, enquanto na produção adensada (A e B) os valores variaram de 8 tC/ha a 11 tC/ha (Figura 5). Apesar da erva-mate ser uma espécie arbórea com boa adaptação à produção na sombra, quando comparado aos sistemas sob pleno sol, a produção de biomassa é reduzida. Porém, em termos de estoques de carbono nos sistemas, a presença das outras espécies arbóreas garantiu estoques de 30 tC/ha na propriedade A e 60 tC/ha na propriedade B. Esse adicional de carbono, contudo, ainda não tem uma valoração que pudesse compensar a diferença de produtividade da erva-mate entre os sistemas produtivos, que variou 1,5 t/ha/ano a 14 t/ha/ano (Tabela 2).

Todavia, quando se compara o potencial de acúmulo de carbono da erva-mate (14 tC/ha a 60 tC/ha) (Figura 5) com o de outras espécies agrícolas tais como feijão, soja, arroz e milho que estocam, em média, 6,5 tC/ha (Davis et al., 2014), a erva-mate tem uma grande vantagem ambiental. Além do maior estoque, por ser uma espécie semiperene, não implica em custos na formação de nova lavoura anualmente, bem como tem uma demanda por insumos externos relativamente menor se comparada com outros cultivos anuais (Moreira et al., 2017).

A serapilheira esteve presente principalmente nos sistemas de produção adensados A e B (4,1 tC/ha), em comparação ao obtido nos sistemas sob pleno sol (1,6 tC/ha). Em termos proporcionais, a serapilheira representou de 7% a 8% do estoque de carbono da parte aérea, independente do sistema de produção. No sistema C, a proteção do solo não corresponde exatamente à serapilheira, mas sim à cobertura do solo realizada com azevém, que contribuiu com estoque de 1,9 tC/ha.



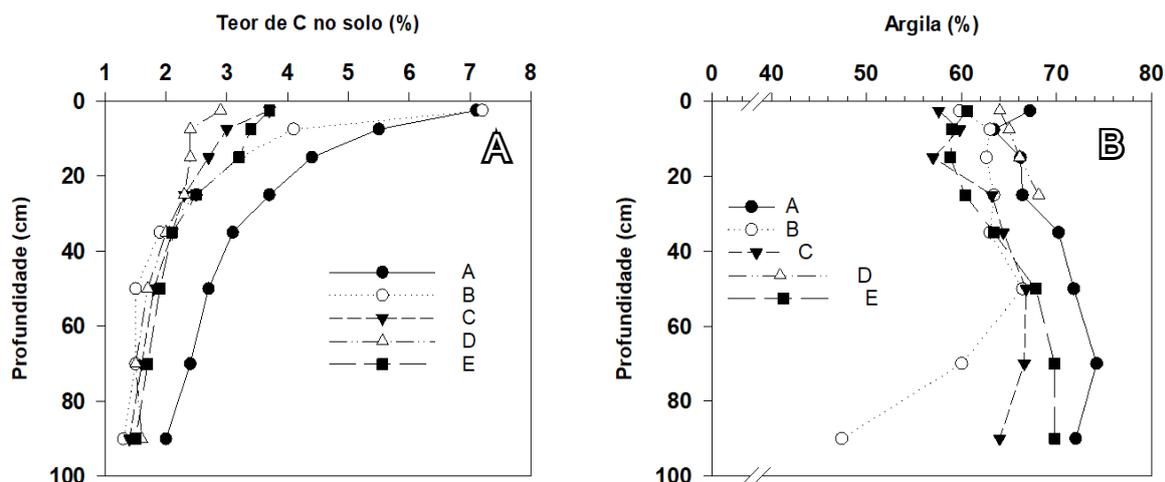
**Figura 5.** Estoque de carbono nos compartimentos da floresta (parte aérea, raízes e serrapilheira), em cinco sistemas produtivos inventariados no município de Cruz Machado e Bituruna, PR. A- Adensamento com nível baixo de sombreamento. B- Adensamento com nível muito alto de sombreamento. C- Sob pleno sol e com cobertura de solo. D- Sob pleno sol e sem cobertura de solo. E- Sob pleno sol e com serrapilheira.

Dada à importante função de proteção do solo que é obtida pela serrapilheira e sendo dependente do carbono da parte aérea, qualquer prática de manejo que afete positivamente esse compartimento pode refletir também positivamente na serrapilheira do solo.

Além do aspecto protetivo do solo já abordado anteriormente, a serrapilheira tem função na ciclagem de nutrientes, ajuda no controle da matocompetição, além de ser, juntamente com as raízes das plantas, a responsável pela manutenção dos estoques de carbono no solo. Segundo estudos em condições agrícolas, para a manutenção dos estoques de carbono no solo é necessário aportar anualmente o equivalente a 4 tC/ha/ano, quando o solo não é revolvido (Lovato et al., 2004). Quando se soma o carbono armazenado nas raízes e na serrapilheira dos sistemas produtivos de erva-mate, tem-se estoques variando de 17 tC/ha a 27 tC/ha que atuam no equilíbrio entre a entrada de carbono no solo e a decomposição da matéria orgânica, sendo, portanto, responsáveis pela manutenção do estoque de carbono no solo, cujos detalhes serão abordados na seção seguinte.

#### Concentração e estoque de carbono no solo

A concentração de carbono no perfil dos solos avaliados com produção de erva-mate teve, em geral, comportamento muito característico de ambientes, com reduzida perturbação do solo ou baixo revolvimento. Isso porque se observa maiores teores de carbono na superfície do mesmo, variando entre 7,2% e 2,9% na camada de 0 cm a 5 cm e reduzindo-se gradativamente em profundidade, oscilando de 2,0% a 1,3%, na profundidade de 80 cm a 100 cm (Figura 6A). Em solos pouco revolvidos e com cultivos de ciclo longo, esse acúmulo na superfície acontece devido à deposição do material vegetal sobre o solo, seguido pelo processo de decomposição, mediado pelos microrganismos e pelas condições edafoclimáticas, que resultam na incorporação desse material orgânico na matriz do solo. Muito comum em sistemas nativos e florestais, o acúmulo de carbono em superfície também pode ocorrer em cultivos agrícolas sob plantio direto, onde a mobilização do solo ocorre somente na linha de semeadura.



**Figura 6.** Concentração de carbono (A) e teor de argila do solo (B) em sistemas de produção com erva-mate, em Cruz Machado e Bituruna, PR. A- Adensamento com nível baixo de sombreamento. B- Adensamento com nível muito alto de sombreamento. C- Sob pleno sol e com cobertura de solo. D- Sob pleno sol e sem cobertura de solo. E- Sob pleno sol e com serapilheira.

Os teores de C observados na superfície do solo têm ampla magnitude (2% a 7%) e denotam uma variação entre os sistemas de produção avaliados (Figura 6A). Os sistemas de produção A e B apresentaram os maiores valores de carbono no solo até a camada de 15 cm, sendo que essa diferença se manteve até 100 cm para o sistema de produção A. A explicação para a maior concentração de C nesse sistema, além do adensamento, que garante a deposição de resíduos vegetais, reside no fato do solo apresentar maiores quantidades de argila (Figura 6B). Sabe-se que as partículas de argila são importantes no processo de estabilização da matéria orgânica do solo, pois são responsáveis pela proteção química do carbono, mediante interações organominerais. Em razão das interações organominerais, que devem prevalecer nos solos com maior quantidade de argila, os microrganismos têm maior restrição de acesso ao carbono orgânico, devido à adsorção dos grupos carboxílicos da matéria orgânica com a superfície dos minerais de argila, expondo a porção hidrofóbica da molécula. Alguns autores colocam a interação organomineral como o principal mecanismo controlador da estabilidade do carbono orgânico, no longo prazo (Kögel-Knabner et al., 2008; Bayer et al., 2019)

Excetuando-se o sistema A por apresentar essa capacidade diferenciada de acúmulo de carbono devido ao conteúdo de argila, para o restante dos sistemas de produção avaliados, as práticas de manejo empregadas nas propriedades explicam as diferenças. Quando se compara a concentração de carbono dos sistemas adensados (A e B) com os demais sistemas sob pleno sol, pesa o fato dos primeiros terem uma adição de serapilheira maior. No sistema de produção D pesa o fato deste ter sido manejado sem cobertura ao longo de 18 anos, quando em cultivo com fumo antes da implantação do erval. Essa prática, provavelmente, responde pela perda substancial no teor de C deste sistema que tem 2,9% de carbono na camada de 0-5 cm, em comparação ao sistema B (7,2%), onde a área de produção simula uma condição próxima do original.

Denardin et al. (2014), trabalhando em plantio de erva-mate com 25 anos de cultivo mantendo o solo sem cobertura, mostraram que houve perdas de 62% na concentração de C na camada de 0 cm a 10 cm, em relação à floresta nativa. Isto reforça as perdas de carbono que ocorrem em sistemas sob pleno sol e sem a proteção do solo.

As práticas de manejo prévias à implantação do erval se referem ao manejo intensivo com mobilização e ausência de proteção do solo pela cobertura. Essas práticas, pela ação direta do rompimento de agregados do solo durante a mobilização, reduzem a proteção física do carbono, além

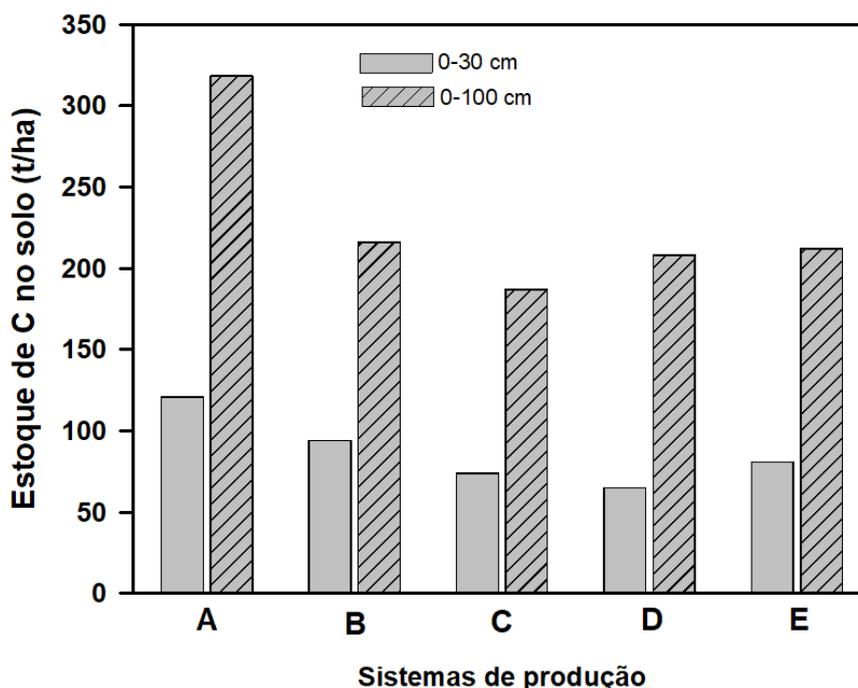
de expor o material orgânico à ação de microrganismos, em condição de maior temperatura pela ausência de cobertura do solo. A consequência dessa prática ao longo dos anos é a redução do carbono do solo, assim como se tem verificado para sistemas agrícolas que são manejados sob preparo convencional e atesta a importância de se manter adição constante de resíduos vegetais ao solo, para preservar as suas camadas mais superficiais, ricas em carbono. Conservar as propriedades químicas da camada superficial do solo é fundamental para garantir a sustentabilidade dos ervais.

À medida que se aprofunda no solo, as diferenças de concentração de carbono entre os sistemas produtivos ficam menos evidentes (Figura 6A), o que reflete nos estoques de carbono na camada subsuperficial (Figura 7). As maiores diferenças entre os sistemas de produção nos estoques de carbono ocorreram na camada de 0 cm a 30 cm, com reflexos na camada de 0 cm a 100 cm. Mas, quando se calcula o estoque de carbono no solo na camada de 30 cm a 100 cm, percebe-se que houve pouca variação entre os sistemas de produção, o que também denota a participação do sistema radicular para a manutenção do carbono na subsuperfície do solo e, de maneira geral, sem interferências do sistema produtivo. Ressalta-se que as camadas superficiais do solo estão mais sujeitas à degradação pelas práticas de manejo indevidas, sendo também mais suscetíveis aos efeitos da mudança do clima, perdendo C com maior facilidade.

Peixoto et al. (2022) indicam estoque de carbono de 118 Mg ha<sup>-1</sup> de C, na camada de 0 cm a 40 cm, em cambissolo com teores de argila oscilando entre 58% e 63%, cultivado com erva-mate sob pleno sol, em um período de 20 anos. Os mesmos autores relatam o mais baixo estoque de carbono na profundidade de 0 cm a 10 cm neste cultivo sob pleno sol, quando comparado com sistemas adensados.

Na camada 0-30 cm, os estoques de carbono no solo variaram de 65 t/ha no sistema de produção D a 121 t/ha no sistema de produção A. As variações de estoque de carbono na camada 0-100 cm foram similares ao da camada superficial, variando de 187 t/ha no sistema C a 318 t/ha no sistema A. Como já explicado anteriormente, o aspecto do maior teor de argila no solo do sistema A tem influência no valor do estoque de carbono. Mas, adotando-se o sistema de produção B (94 t/ha) como representativo da condição original do ambiente, presume-se que os sistemas de produção sob pleno sol imprimiram perdas de até 30% no estoque de carbono da camada 0-30 cm. As perdas de carbono ocorreram nos três sistemas em que houve a mudança completa de uso do solo, ou seja, a retirada de espécies arbóreas da floresta nativa para a implantação da erva-mate (C, D e E). A maior perda, porém, ocorreu no sistema de produção D, e pode ser explicada, pelo menos parcialmente, pelo uso anterior do solo com cultivo agrícola, como já mencionado anteriormente, além do cultivo da erva com o solo descoberto. Em relação ao sistema B, a mudança de uso do solo ocasionou perdas de 14%, 21% e 31% no estoque de carbono do solo na camada de 0 cm a 30 cm, nos sistemas E, C e D, respectivamente, em aproximadamente 10 a 12 anos de uso.

Em termos comparativos, o mapa nacional de solos (Mapbiomas, 2023) aponta que, na condição florestal da Mata Atlântica, os solos na camada 0-30 cm capturam, em média, 50 tC/ha. Na Floresta Ombrófila Mista, em solo com teor de argila semelhante ao do presente estudo, Veloso-Gomes et al. (2018) mediram 89 tC/ha, valores muito próximos aos observados neste estudo, no sistema de produção B. No Rio Grande do Sul, em ervais sob pleno sol, Alegre et al. (2007) verificaram que o solo armazenava entre 39 tC e 65 tC na camada 0-50 cm, o que equivale a aproximadamente 23 tC/ha a 39 tC/ha na camada 0-30 cm, sendo de magnitude menor se comparado aos observados neste estudo. Essa diferença, provavelmente, está relacionada ao uso anterior do solo, uma vez que os ervais do estudo de Alegre et al. (2007) foram implantados sob áreas agrícolas da região.



**Figura 7.** Estoques de C no solo nas profundidades de 0-30 cm e 0-100 cm em propriedades sob diferentes sistemas de produção de erva-mate. A- Adensamento com nível baixo de sombreamento. B- Adensamento com nível muito alto de sombreamento. C- Sob pleno sol e com cobertura de solo. D- Sob pleno sol e sem cobertura de solo. E- Sob pleno sol e com serapilheira.

As mudanças de estoque de carbono no solo da erva-mate permitem estimar o índice de alteração de carbono (IAC). Esse índice é adotado em publicações oficiais, para estimar de forma indireta os estoques de carbono que estão sob um determinado uso.

Considerando o estoque de carbono do sistema de produção B como o valor de referência, o IAC dos demais sistemas de produção variou de 0,7 a 0,93, ou seja, em média, a conversão de Floresta Ombrófila Mista para plantios de erva-mate sob pleno sol implicou na redução do estoque de carbono de 30% a 7%, dependendo do manejo praticado no erval. O desafio do setor ervateiro é colocar em prática ações de manejo que possam não apenas frear as perdas, mas representar ganhos nos estoques de carbono no solo, contribuindo ainda positivamente para o carbono ecossistêmico e também à sustentabilidade do erval.

Os solos avaliados no presente documento possuem altos estoques de carbono na sua condição natural, devido às condições edafoclimáticas da região. Porém, esses elevados valores podem passar a ilusão de maior resiliência e, comparando dentro da mesma condição, percebe-se que alguns sistemas de produção precisam de práticas adequadas para cessar a perda de carbono no solo. O manejo adotado atualmente permite ainda a perda de carbono do solo, seja por erosão ou por decomposição da matéria orgânica, liberados na forma de  $\text{CO}_2$ , contribuindo para a perda de potencial produtivo e da sustentabilidade da produção, no longo prazo. A adoção de tecnologias sustentáveis de produção nos cultivos de erva-mate, adensados ou não, promovem o aumento da produtividade (Goulart et al., 2022) e contribuem para a manutenção do estoque de carbono.

Para mudar o cenário de perdas de carbono do solo, esses sistemas de produção precisam agregar práticas de manejo com maior potencial de adição de resíduos vegetais ao solo e, assim, conseguir

compensar as perdas de carbono ocasionadas pela mudança de uso. Entre as práticas de manejo que podem ser destacadas para esse fim, tem-se a cobertura do solo com diversidade e qualidade química para persistir e proteger o solo; a adubação dos ervais para elevar a produtividade, inclusive de sistema radicular e de exsudatos, e a arborização do erval para diminuir a temperatura e contribuir adicionalmente com resíduos vegetais ao solo.

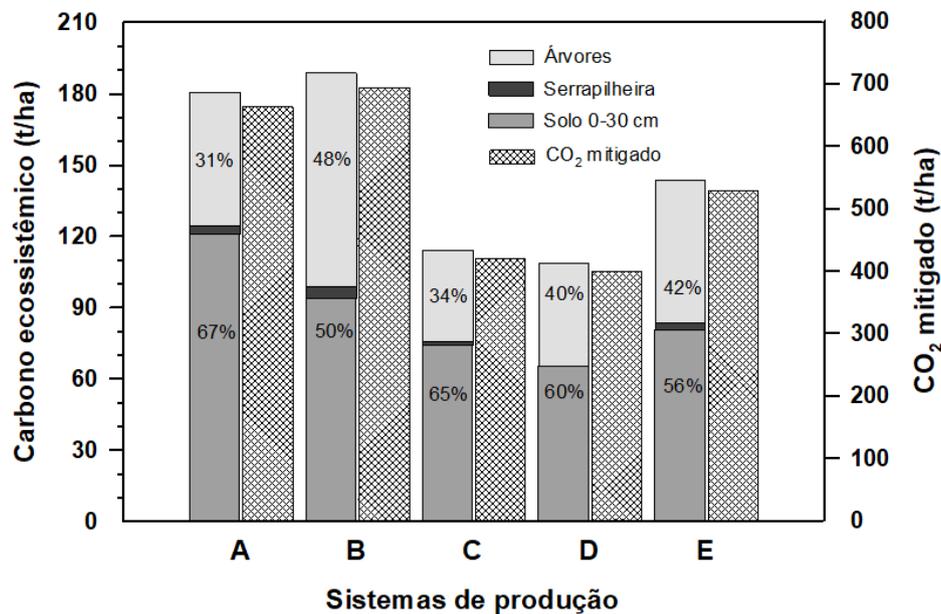
### Carbono ecossistêmico

A maior contribuição ao carbono ecossistêmico foi observada nos sistemas de produção A e B, com total de 180 t/ha e 188 t/ha, respectivamente (Figura 8). Os sistemas C e D foram equivalentes entre si quanto ao carbono ecossistêmico (média 114 t/ha); enquanto o sistema E teve contribuição intermediária de 143 tC/ha. A quantidade de CO<sub>2</sub> mitigado pelos sistemas de produção de erva-mate foi de 400 tC/ha a 700 tC/ha (Figura 8). Esses números suportam o significativo potencial que os sistemas de produção com erva-mate têm na mitigação de gases de efeito estufa, especialmente o CO<sub>2</sub> antropogênico (Smith et al., 2014). Muito desse potencial é atribuído à boa adaptação ecológica dessa espécie à condição subtropical e a resposta aos tratos culturais, resultando em taxas de crescimento substancialmente maiores que aquelas na condição original. Contudo, o fato de se tratar de um sistema florestal também pesa a intensidade de manejo, principalmente de colheita, que é a cada 18-24 meses, sendo esse intervalo de tempo suficiente para a planta produzir folhas e para a remoção de CO<sub>2</sub> em outros compartimentos da planta.

Comparativamente com outras culturas agrícolas, que têm valores de remoção de CO<sub>2</sub> na ordem de 10 t/ano a 15 t/ano e que, parcialmente, retorna ao ambiente por ocasião da colheita, a erva-mate extrapola esses valores, mantendo a vantagem de ser uma cultura semiperene, com ciclo produtivo de 30-40 anos, podendo estocar nessa idade valores bem superiores aos observados neste estudo. Alegre et al. (2007), trabalhando em ervais sob pleno sol no Rio Grande do Sul, verificaram que o estoque de carbono ecossistêmico foi 238 tC/ha com quatro anos de idade e se ampliou para 318 tC/ha aos 25 anos, mitigando mais de 1.000 tC/ha.

O carbono ecossistêmico representa a soma dos estoques de carbono dos compartimentos presentes nos sistemas de produção. O compartimento que mais contribuiu para o C ecossistêmico foi o solo, que armazenou 50% a 67% na camada 0-30 cm, independente do sistema de produção. Quando se considera o carbono na camada 0-100 cm, o solo chegou a representar até 89% do carbono ecossistêmico. O carbono da vegetação representou de 31% a 48% do carbono ecossistêmico, enquanto a serapilheira, representou menos de 4% do carbono ecossistêmico.

No sistema de produção B, onde a biomassa de árvores foi maior entre os sistemas, o solo representou 50% do carbono ecossistêmico e chegou a mais de 66% na média dos sistemas de produção A e C, principalmente devido à capacidade diferenciada de acúmulo de carbono no solo do sistema de produção A e da baixa biomassa vegetal no sistema C, como já explicado anteriormente. Esses resultados reforçam a grande relevância que o carbono no solo tem na mitigação da emissão de gases de efeito estufa, sendo na maioria das vezes e mesmo considerando apenas a camada 0-30 cm o compartimento de maior magnitude. Além disso, os resultados ressaltam a importância de se manejar corretamente o solo para garantir a sustentabilidade dos ervais, independente do sistema de produção, fazendo com que a cultura da erva-mate continue sendo um sumidouro de carbono e, assim, contribuindo não apenas à conservação de recursos da biodiversidade, mas também para mitigar os efeitos da mudança do clima.



**Figura 8.** Estoques de carbono ecossistêmico composto pelos compartimentos solo, vegetação e serapilheira e equivalente de dióxido de carbono mitigado pelos sistemas de produção de erva-mate, nos municípios de Cruz Machado e Bituruna, PR. A- Adensamento com nível baixo de sombreamento. B- Adensamento com nível muito alto de sombreamento. C- Sob pleno sol e com cobertura de solo. D- Sob pleno sol e sem cobertura de solo. E- Sob pleno sol e com serapilheira.

#### Considerações sobre os estoques de carbono

O solo foi o compartimento que mais armazenou C em todos os sistemas de cultivo, enquanto os sistemas sob pleno sol armazenam 60% mais carbono na biomassa da erva-mate que os sistemas adensados sombreados. A cobertura protetiva do solo, seja com serapilheira nos sistemas sombreados ou com cobertura viva nas entre linhas de erva-mate, nos cultivos sob pleno sol, exerce um papel fundamental na manutenção do estoque de C no solo.

Como nos sistemas sob pleno sol, a produtividade e o resultado financeiro foram superiores, conforme será visto adiante, mas os estoques de carbono no solo sofreram redução, tornando-se necessário encontrar o nível de sombreamento ideal, associado às práticas de manejo apropriadas, para garantir o maior estoque de C, a maior produtividade, e, como consequência, o melhor retorno econômico, assegurando a sustentabilidade aos diferentes sistemas de cultivo.

Para que os sistemas exerçam plenamente o seu papel de sequestrador de C e mitigador dos efeitos da mudança do clima, deve-se recuperar e conservar os estoques de C nos sistemas de cultivo. O preparo do solo para o plantio deve ser feito sem revolver e remover as camadas superficiais mais ricas em carbono. Torna-se indispensável que, no sistema D, com o solo exposto, a possibilidade de implantação de técnicas de proteção tais como cobertura morta ou adubação verde, visando manter o potencial produtivo do solo e, simultaneamente, o seu estoque de carbono, tão importante para a sustentabilidade do sistema, contribuindo com a mitigação dos efeitos da mudança do clima.

## Análise de viabilidade financeira

### Sistemas de erva-mate sombreados - adensamentos

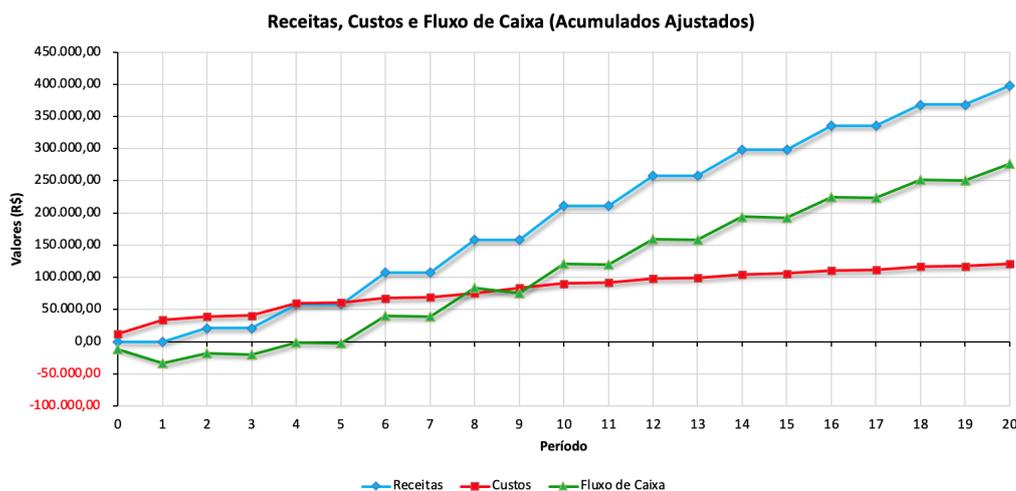
O fluxo de caixa acumulado permite observar o tempo de retorno do investimento (TRI) ou payback. Na propriedade A alcançou-se o TRI aos seis anos, enquanto na propriedade B foi preciso aguardar até o 16º ano (Figura 9).

Os custos de preparo de área e atividades de plantio, no primeiro ano, totalizaram R\$ 48.000,00 para A e R\$ 50.000,00 para B. Observa-se na Figura 9 que as receitas totais e os custos totais do agricultor A foram de aproximadamente R\$ 400.000,00 e R\$ 120.000,00, respectivamente, enquanto para o agricultor B os valores foram de R\$ 170.000,00 e R\$ 155.000,00, respectivamente.

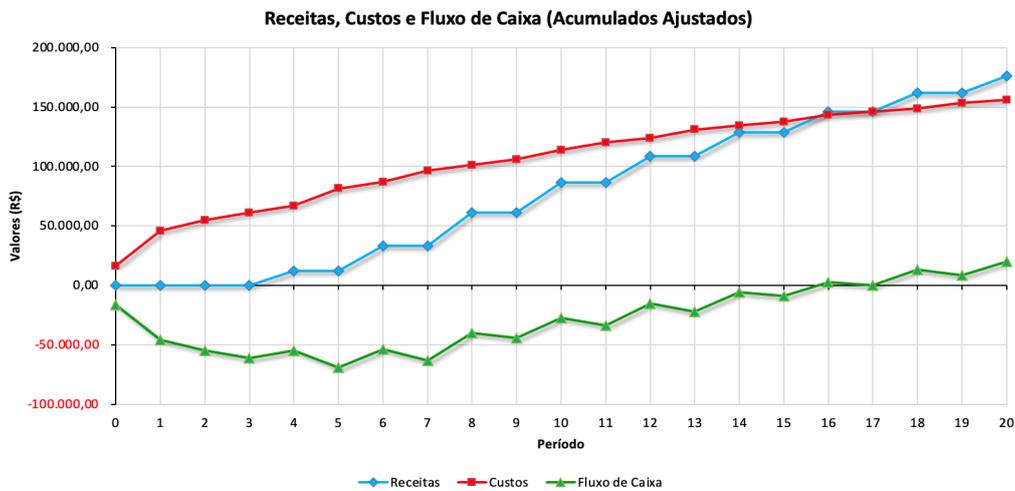
As receitas totais do agricultor B, com nível de sombreamento do erval maior que o do agricultor A, foram 42% menores que as do agricultor A, e geraram o impacto negativo de R\$ 230.000,00. Ao longo do período de 20 anos, as receitas geradas no sistema de erva-mate com maior nível de sombreamento e maior densidade, tiveram dificuldades para superar os custos de manutenção e colheita.

O Fluxo de Caixa Anual das propriedades A e B, durante 20 anos, pode ser observado na Figura 10. Os maiores custos ocorreram durante a fase de preparo da área e plantio, e nos anos posteriores os custos oscilaram entre R\$ 5.000,00 e R\$ 10.000,00.

As receitas ocorreram a cada dois anos e as mais significativas foram geradas a partir do 6º ano até o 16º ano, com médias de R\$ 50.000,00 para o agricultor A e de R\$ 25.000,00 para o agricultor B. É importante destacar que as propriedades não geraram receitas e, conseqüentemente apresentaram fluxo de caixa negativo nos anos 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 e 19. É importante destacar que,



A

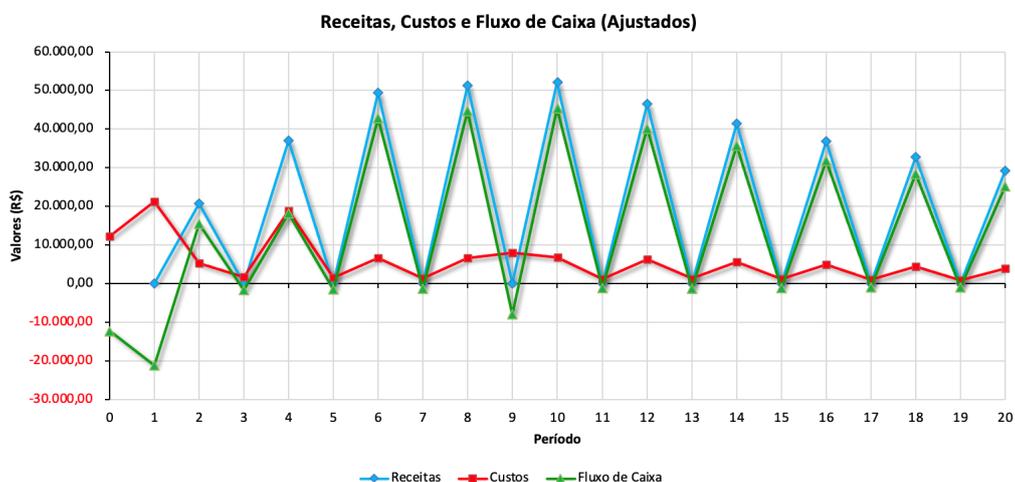


B

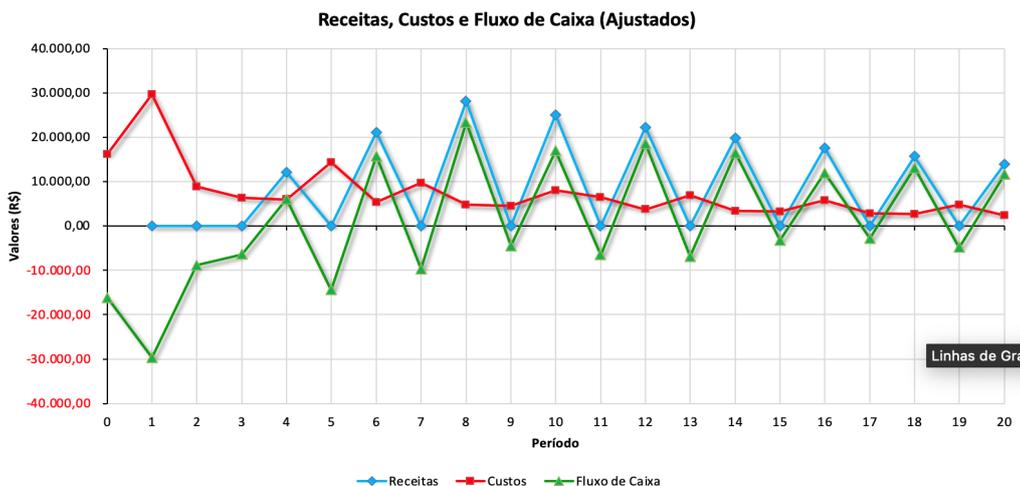
**Figura 9.** Fluxo de Caixa Acumulado dos sistemas de produção com erva-mate, sombreados, dos agricultores A (acima) e B (abaixo), em uma área de 5 ha, avaliados em um período de 20 anos.

apesar da preferência do consumidor pela erva-mate sombreada, devido ao seu sabor mais suave, as ervateiras na região pagam o mesmo valor que o da erva-mate sob pleno sol.

Em relação à demanda de mão de obra, observou-se comportamentos distintos entre os agricultores A e B, uma vez que o agricultor A realiza sua colheita com mão de obra familiar e transporta a erva-mate até a indústria compradora. Já o agricultor B acompanha a colheita realizada pela empresa compradora da erva-mate (Figura 11). Apesar dos custos de colheita da erva-mate serem significativos, o agricultor B apresentou custos de mão de obra mais altos nas atividades de limpeza, retirada de cipós e adubação. Nos períodos de colheita da erva-mate, o agricultor A necessitou de 100 diárias ano<sup>-1</sup>, em média, entre o 8º e o 20º anos, para a área de 5 ha. Nos períodos sem colheita da erva-mate, sua demanda foi aproximadamente 10 diárias ano<sup>-1</sup>. O agricultor B precisou



A



B

Figura 10. Fluxo de Caixa Anual dos sistemas de produção com erva-mate, sombreados, dos agricultores A (acima) e B (abaixo), em uma área de 5 ha, avaliados em um período de 20 anos.

de 115 diárias para o plantio, 70 diárias ano<sup>-1</sup> em quatro períodos de colheita e de 50 diárias ano<sup>-1</sup> nos demais períodos.

Estes dados demonstram a variabilidade do uso da mão de obra nos sistemas de adensamento de erva-mate nesta região, sendo que cada produtor apresenta um manejo específico do sistema de produção e logística em relação à colheita.

É importante destacar que, mesmo dentro dos adensamentos de erva-mate, existe uma grande variabilidade quanto ao sombreamento que varia em função da cobertura do dossel das outras árvores nativas, além das práticas de manejo adotadas em cada sistema, do perfil do produtor, culminando em variações em relação ao uso de mão de obra. Estes aspectos afetam os resultados da análise financeira apresentada e a tomada de decisão em relação à gestão da propriedade, conforme suas particularidades, incluindo aspectos de comercialização da erva-mate no mercado.



A



B

**Figura 11.** A, Demanda de mão de obra dos sistemas de produção com adensamentos de erva-mate dos agricultores e B, em uma área de 5 ha, avaliados em um período de 20 anos.

#### Sistemas de erva-mate sob pleno sol

O Fluxo de Caixa Acumulado nos sistemas de erva-mate sob pleno sol pode ser observado na Figura 12. Os custos totais acumulados foram cerca de R\$ 200.000,00, valores muito semelhantes para os agricultores C e D. No caso do agricultor E, os valores foram aproximadamente R\$ 220.000,00. Estes custos foram até 70% mais altos aos obtidos pelos agricultores que cultivam a erva-mate sombreada (Figura 9).

Em relação às receitas totais, os agricultores C e E alcançaram aproximadamente R\$ 450.000,00 e o agricultor D obteve cerca de R\$ 900.000,00 em uma área de 5 ha, ao longo de 20 anos de cultivo de erva-mate.

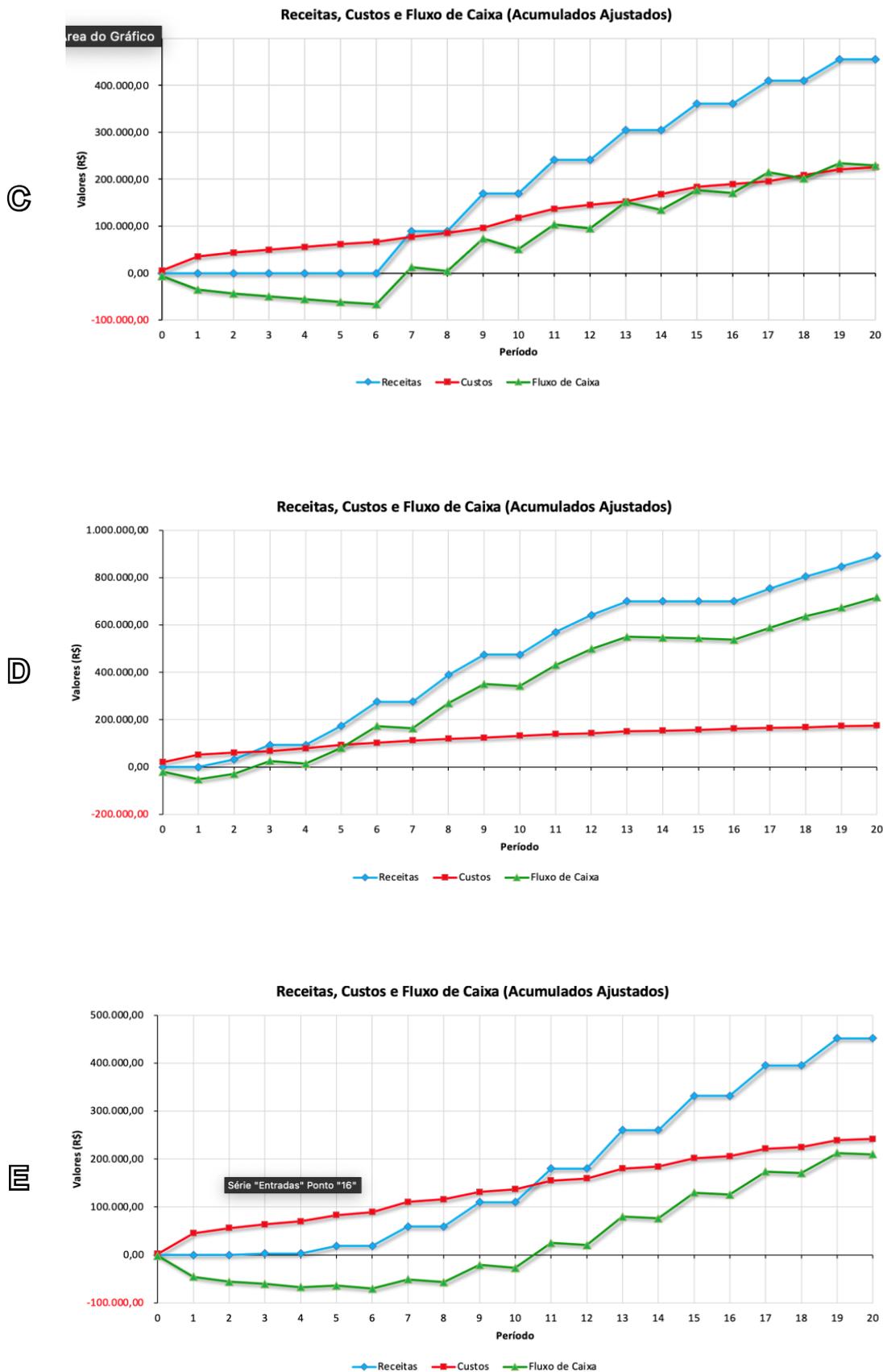
Na análise do Fluxo de Caixa Acumulado, observou-se que o Tempo de Retorno do Investimento (Payback) foi três anos, sete anos e onze anos para os agricultores D, C e E, respectivamente.

O Fluxo de Caixa Anual observado dos agricultores C, D e E pode ser observado na Figura 13. As colheitas de erva-mate foram bienais aos agricultores C e E, e com receitas ocorrendo a partir do 7º ano, semelhantes ao longo dos 20 anos, oscilando entre R\$ 40.000,00 a R\$ 90.000,00.

O agricultor D apresentou características distintas dos demais, com colheitas anuais e bienais a partir do 2º ano. Obteve as cinco melhores colheitas entre o 5º e o 11º ano, com receitas entre R\$ 80.000,00 e R\$ 110.000,00. As demais receitas ao longo do período de 20 anos variaram entre R\$ 45.000,00 e R\$ 80.000,00.

A demanda de mão de obra dos sistemas com erva-mate sob pleno sol, em áreas de 5 ha, ao longo do período de 20 anos, pode ser observada na Figura 14. A demanda e intensidade de mão de obra do agricultor E são maiores que aquelas dos agricultores C e D, uma vez que realiza sua colheita em área certificada, com mão de obra familiar e contratada, e entrega a erva-mate na indústria compradora. Os agricultores C e D, entretanto, acompanham a colheita realizada pela empresa compradora da erva-mate.

Os períodos com maior demanda de mão de obra aconteceram durante as fases de preparo de área, plantio e colheita da erva-mate. O sistema produtivo do agricultor C consumiu entre 110 diá-

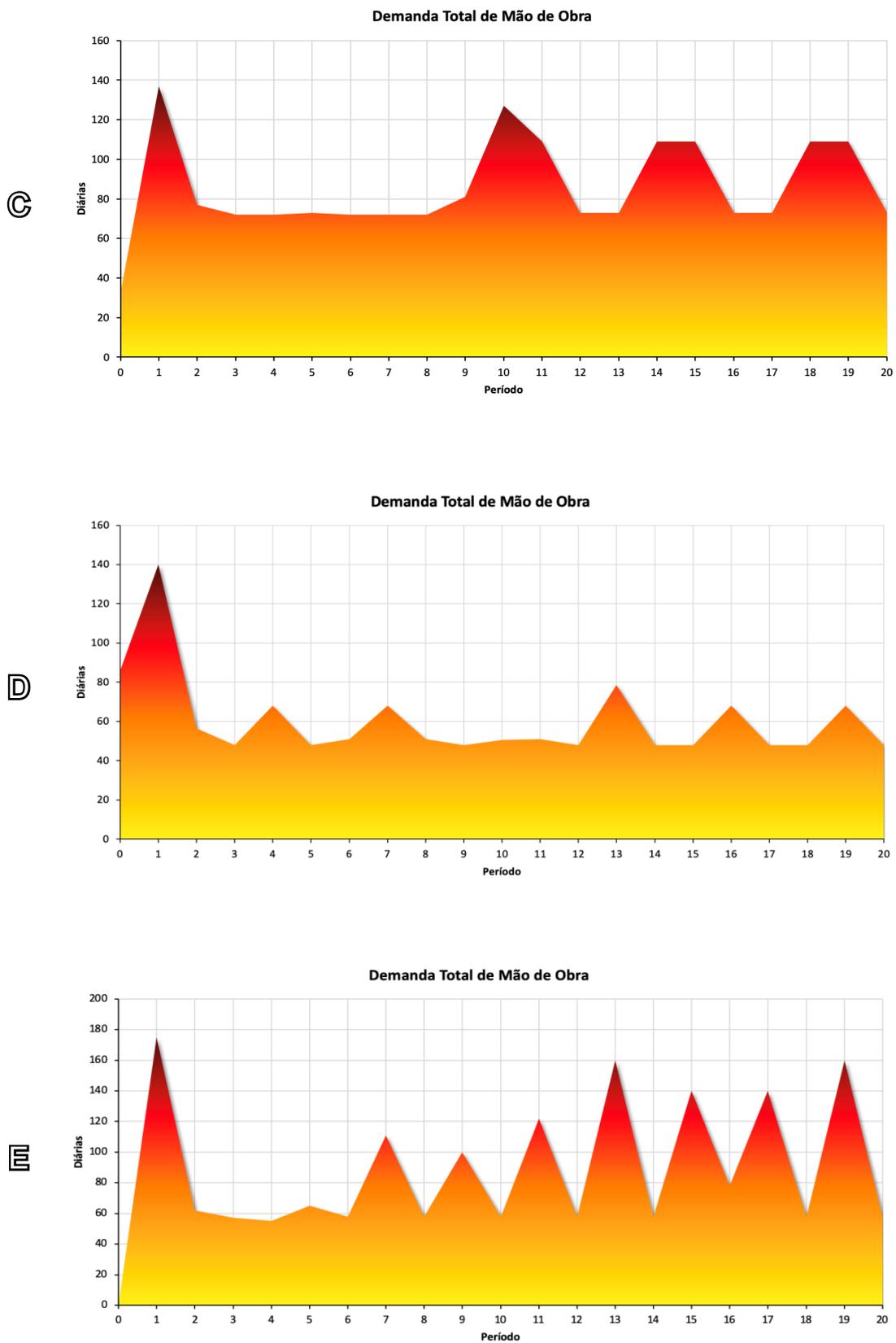


**Figura 12.** Fluxo de Caixa Acumulado dos sistemas de produção com erva-mate, sob pleno sol, dos agricultores C, D e E, em uma área de 5 ha, avaliados em um período de 20 anos.

rias ano<sup>-1</sup> e 137 diárias ano<sup>-1</sup> nas fases de plantio e colheita e em torno de 75 diárias ano<sup>-1</sup> nas outras fases. A demanda de mão de obra do agricultor D foi 140 diárias ano<sup>-1</sup> na fase de plantio e entre 65 diárias ano<sup>-1</sup> e 80 diárias ano<sup>-1</sup> nos períodos de acompanhamento das colheitas. O agricultor E alcançou 170 diárias ano<sup>-1</sup> na fase de plantio. Durante as colheitas, as demandas de mão de obra oscilaram entre 100 diárias ano<sup>-1</sup> a 160 diárias ano<sup>-1</sup>, e apresentou a média de 60 diárias ano<sup>-1</sup> nos períodos de manutenção (Figura 14).



**Figura 13.** Fluxo de Caixa Anual dos sistemas de produção com erva-mate, sob pleno sol, dos agricultores C, D e E, em uma área de 5 ha, avaliados em um período de 20 anos.



**Figura 14.** Demanda de mão de obra dos sistemas de produção com erva-mate, sob pleno sol, dos agricultores C, D e E, em uma área de 5 ha, avaliados em um período de 20 anos.

Estes resultados demonstram a grande variabilidade do emprego da mão de obra na propriedade rural, de acordo com o manejo utilizado em cada sistema, sendo um importante componente dos custos de produção.

Do mesmo modo, foram observados resultados diferentes para a análise financeira entre os sistemas sob pleno sol avaliados. As variações referem-se ao histórico de uso da terra, tecnologias de produção adotadas, uso de mão de obra em função de cada caso estudado. Por isso, a tomada de decisão em relação à gestão dos ervais deverá ser realizada no âmbito da propriedade e em conformidade com as demandas do mercado, para fins de melhorias na rentabilidade.

As condições de investimento de cada produtor bem como os objetivos de cada atividade afetam os sistemas de produção e, por isso, devem ser considerados na gestão das propriedades. Da mesma forma, oportunidades de mercado podem ser encaradas como oportunidades no planejamento dos ervais. Tem-se, por exemplo, a preferência das indústrias pela erva-mate oriunda de ervais sombreados ou nichos de produtos orgânicos ou similares.

#### Indicadores financeiros

Os coeficientes técnicos e indicadores financeiros de todos os sistemas com erva-mate, adensamentos e sob pleno sol, podem ser observados e comparados na Tabela 4. É importante ressaltar que os indicadores financeiros devem ser analisados em conjunto, observando a tendência entre eles ao longo dos 20 anos de avaliação.

Neste sentido, os melhores resultados obtidos foram do agricultor D, em plantios de erva-mate sob pleno sol, onde todos os indicadores financeiros foram superiores aos demais, com VPL de R\$ 716.000,00, TIR modificada de 17,55%, relação B/C de 5,09 e tempo de retorno do investimento (Payback) de três anos.

Por outro lado, a análise financeira do agricultor B, relativa ao cultivo de erva-mate em adensamento, resultou nos mais baixos indicadores/coeficientes do grupo em estudo, com VPL de R\$ 20.000,00, TIR modificada de 6,45%, relação B/C de 1,13 e tempo de retorno do investimento (Payback) de 16 anos (Tabela 4). Os sistemas com erva-mate B e D foram conduzidos pelo mesmo agricultor, em uma mesma propriedade rural, sob diferentes formas de manejo, adensamento e sob pleno sol, respectivamente. Entretanto, a baixa produtividade do sistema B foi a consequência do excesso de sombreamento.

A densidade de plantas do erval não influenciou os resultados financeiros dos sistemas avaliados. O agricultor que cultivou os ervais mais adensados, nos sistemas D e B, com 27.778 e 23.000 plantas em 5 ha, respectivamente, mostraram resultados contrastantes com os melhores indicadores financeiros no sistema D, sob pleno sol, quando comparado ao sistema B, com alto nível de sombreamento. Entretanto, densidades menores implicam em menor custo com mudas e mão de obra ao plantio, adubação de plantio e formação de copa e outros tipos de manejos aplicados. Isto pode ser observado nas Figuras 10 a 13.

Os agricultores A (adensamento de erva-mate) e E (erva-mate sob pleno sol) empregaram a mesma densidade de plantio, ou seja, 12.500 plantas em uma área de 5 ha (espaçamento 2,0 m x 2,0 m). Todos os indicadores financeiros foram maiores no sistema A, com VPL de R\$ 276.000,00; TIRm de 15,79%; relação B/C de 3,28 e tempo de retorno do investimento de seis anos, enquanto o sistema E apresentou VPL de R\$ 210.000,00; TIRm de 11,69%; relação B/C de 1,87 e tempo de retorno do investimento de 11 anos (Tabela 4).

Tabela 4. Coeficientes Técnicos e Indicadores Financeiros dos sistemas de produção com erva-mate, em áreas de 5 ha, avaliados no período de 20 anos.

<b>Coeficientes/Indicadores Financeiros</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
	<b>Adensamento</b>	<b>Adensamento</b>	<b>Pleno sol</b>	<b>Pleno sol</b>	<b>Pleno sol</b>
Espaçamento (m)	2,0 x 2,0	1,8 x 1,2	3,0 x 1,0	1,5 x 1,2	2,0 x 2,0
Densidade (5 ha)	12.500	23.000	16.667	27.778	12.500
Sombreamento (nível)	Baixo	Muito Alto	Nulo	Nulo	Nulo
Produtividade (kg/ha)	10,0	7,0	18,0	28,0	18,0
Preço de venda (R\$ kg <sup>-1</sup> )	1,87	1,40	1,50	1,30	1,90
Taxa de desconto anual (%)	6				
VPL (R\$) x 1.000	276	20	229	716	210
TIRm (%)	15,79	6,45	10,73	17,55	11,69
Relação B/C	3,28	1,13	2,02	5,09	1,87
Tempo de retorno (anos)	6	16	7	3	11

O nível de sombreamento é um fator relacionado com a produtividade dos sistemas de produção de erva-mate e ambos afetam os indicadores financeiros (Tabela 3). A presença de árvores sombreadoras tende a reduzir a produtividade da erva-mate pela competição das erveiras por luz, nos sistemas. Porém, não se pode analisar esses resultados somente na ótica produtiva. Por ser nativa, a erva-mate pode ser tanto extraída de florestas naturais quanto cultivada em remanescentes florestais. Em grande parte dessas áreas, os produtores não têm alternativas de uso, além da erva-mate. E nestes casos, mesmo tendo retornos menores, a atividade ervateira pode significar uma fonte de renda interessante na propriedade.

Entretanto, é fundamental que o nível de sombreamento seja o ideal, para que os sistemas possam atingir o seu potencial produtivo máximo, o que só ocorre se o suprimento de luz for satisfatório.

Zerbielli (2016) indicou que, sob pleno sol, a produção de erva-mate atingiu 30 kg/planta, com redução para 15 kg/planta e 4 kg/planta, respectivamente, quando os níveis de luz caíram para 50% e 30%.

Pode estar ocorrendo que, nos sistemas sombreados com baixa disponibilidade de nutrientes (sistemas A e B), o erval não conseguiu atingir seu máximo potencial produtivo. Por outro lado, nos erval sob pleno sol, o sistema mais produtivo foi aquele com a menor taxa de fertilidade do solo (sistema D), mas com a maior densidade de plantas, indicando que a interação entre sombreamento, densidade e altura de plantas e adubação deve ser adequadamente analisada, tendo peso na definição do resultado do sistema. Chamou a atenção o fato de os sistemas C e E, sob pleno sol, terem atingido a mesma produtividade, os quais apresentaram caráter eutrófico e álico, respectivamente, ou seja, grande contraste de fertilidade. Isto pode estar relacionado à baixa altura de plantas no sistema C, não compensada pela alta fertilidade do solo, e no sistema E, no qual a considerável maior altura das plantas de erva-mate não conseguiu elevar a produtividade, por deficiência de fertilidade.

#### Considerações sobre os resultados financeiros

- Todos os sistemas de produção de erva-mate avaliados foram viáveis financeiramente;
- A melhor rentabilidade financeira foi alcançada pelo sistema D, cultivado sob pleno sol e com alta densidade de plantas de erva-mate, apesar da grande redução do estoque de carbono do solo e da baixa fertilidade natural do solo;

- O sistema B, cultivado sob alto nível de sombreamento, mostrou-se pouco atrativo para o agricultor, por apresentar os mais baixos indicadores financeiros, muito próximos de sua inviabilidade;
- Os custos totais de produção dos sistemas com erva-mate sob pleno sol foram superiores aos sistemas de adensamento;
- A demanda de mão de obra foi semelhante em ambos os sistemas.

### **Análise crítica da relação entre estoque de carbono e viabilidade financeira**

É imprescindível que a análise dos estoques de carbono e da viabilidade econômica sejam feitas em conjunto. Para alcançar uma visão plena e integrada entre sustentabilidade e rentabilidade, deve-se considerar a gestão da atividade enquanto negócio (maximização de ganhos), que possibilita às famílias prosperarem e obterem melhores meios de vida e os benefícios gerados pela atividade em prol da conservação dos recursos naturais e da sociobiodiversidade. Como consequência, tem-se um sistema de produção que se adere à própria agenda climática e ambiental, cumprindo seus papéis local e globalmente.

Neste contexto, torna-se estratégico para a pesquisa e extensão rural, coletar dados e transformá-los em inteligência setorial, para compreender a dinâmica de interações, investimentos, processos, manejos, indicadores e resultados esperados da produção de erva-mate. Dessa forma, é possível assistir tecnicamente aos produtores com informações e conhecimentos que potencializem o retorno de sua atividade, tanto na esfera ambiental quanto na socioeconômica.

Ao analisar os resultados apresentados nas seções anteriores, compreende-se que existem conotações distintas e situações contrastantes que podem ser divergentes se analisadas isoladamente: estoque de carbono e análise da viabilidade financeira. No entanto, ao levar estas óticas para o campo prático da atividade, nota-se suas inúmeras variáveis e interações, sendo possível compreender uma faixa intermediária, entre os arranjos mais divergentes (excesso de sombreamento e sob pleno sol). Os arranjos produtivos que promovem a presença de sombra ao cultivo da erva-mate, desde que tecnicamente manejada nos sistemas de produção (seja na implantação ou condução do erval), proporcionam um microclima favorável ao cultivo, reduzindo o estresse hídrico e térmico, melhorando a qualidade sensorial da erva-mate e aumentando o equilíbrio natural em relação ao ciclo de pragas e doenças. Ao mesmo tempo, pode assegurar aos produtores elevados índices de produtividade, quando comparado aos valores médios de produtividade para a cultura no Brasil. Toda essa conjuntura é ainda mais satisfatória, quando o cultivo da erva-mate é posicionado sob o olhar da bioeconomia, e quando se busca soluções baseadas na natureza para mover e impulsionar todo o setor.

A condução de uma atividade florestal não madeireira que desempenha um papel central na cadeia da sociobiodiversidade da Mata Atlântica brasileira requer uma abordagem abrangente que vá além de pesquisas, desenvolvimento, recursos financeiros e políticas públicas adequadas. Para que essa atividade seja bem-sucedida, é essencial que os agricultores familiares e trabalhadores envolvidos no cultivo e manejo da erva-mate tenham acesso frequente à capacitação, novas tecnologias e assistência técnica de qualidade.

Reconhecer o importante papel desempenhado pelos produtores de erva-mate vai além da sustentação de um setor crucial na economia agrícola brasileira, pois eles também são aliados na geração de serviços ambientais. Portanto, é necessário fortalecer as parcerias entre instituições de pesqui-

sa, governos, sociedade civil organizada, extensão rural e setor privado, para fornecer o suporte necessário. Ao valorizar e investir nessa atividade, contribuir-se-á para o fortalecimento de uma economia de baixo carbono, mais inclusiva e sustentável no longo prazo. Isso não apenas beneficia os agricultores envolvidos, mas também promove a conservação da Mata Atlântica, a geração de renda e a construção de uma sociedade mais equilibrada e consciente de sua relação com o meio ambiente.

#### Implicações no planejamento e manejo dos sistemas de produção de erva-mate

Os resultados apresentados nos capítulos anteriores mostraram variações tecnológicas entre e dentro de sistemas de adensamento e sob pleno sol. Como visto, estas variações afetam o estoque de carbono e os resultados financeiros de cada propriedade. No entanto, não houve correlação clara entre o estoque de carbono e o resultado financeiro.

É possível observar que um estoque maior de carbono não refletiu em maior Valor Presente Líquido tanto nos adensamentos de erva-mate quanto nos ervais sob pleno sol. Isto se deve provavelmente às variações presentes nos próprios sistemas de produção, como discutido anteriormente.

Variações de cunho tecnológico são igualmente percebidas em outras propriedades e regiões produtoras. De fato, estudos recentes mostraram que o emprego de tecnologias em cultivos de erva-mate é bastante variável, e caracterizado por baixos níveis de adoção (Mayol et al., 2014; Goulart, 2020; Goulart et al., 2022). É possível inferir, diante disso, que os ervais cultivados estejam produzindo biomassa abaixo de seus potenciais e, por conseguinte, gerando menos renda.

No presente trabalho, o nível de sombreamento, espaçamento e densidade, intervalo entre colheitas e tratos culturais influenciaram no desempenho dos ervais estudados. Estes fatores podem ser combinados em maior ou menor grau, visando buscar a maior produtividade, retorno financeiro e sustentabilidade, além de indicar uma estimativa do potencial de mitigação de CO<sub>2</sub> de cada erval. Adiante, alguns desses fatores serão discutidos brevemente.

#### Sombreamento

É importante conhecer essa variável para indicar as condições de cultivo de erva-mate sob diferentes intensidades de sombra. Essa orientação proporciona ao agricultor a oportunidade de utilizar essa cultura não apenas em áreas manejadas da reserva legal, mas também ampliar as oportunidades de acesso aos serviços ambientais de mercado (por exemplo, carbono e biodiversidade).

O sombreamento nos cultivos de erva-mate aparece nos adensamentos, onde a sombra é oriunda de árvores remanescentes de floresta natural, e nos ervais arborizados, onde a sombra é intencionalmente formada com árvores nativas. Contudo, a sombra em adensamentos de erva-mate é um fator não manejável legalmente, pois estão, geralmente, em áreas de Reserva Legal ou de Preservação Permanente de pequenas propriedades. Dessa forma, o produtor deve conviver com a sombra existente, buscando fazer ajustes no manejo das erveiras, de acordo com a sombra pré-existente.

Diversos estudos mostraram que a produtividade diminui com o aumento do nível de sombreamento (Suertegaray, 2002; Floss et al., 2009; Benedetti et al., 2016; Zerbielli, 2016). Este fato ocorre em função da redução da disponibilidade de luz para as erveiras que produzem menor biomassa. Nos sistemas de produção com alto nível de sombreamento, o potencial produtivo, portanto, é me-

nor em comparação com aquele de sistemas menos sombreados. Porém, isso não significa que ervais sombreados não podem ser rentáveis aos produtores, fato demonstrado no presente estudo.

Em ervais sombreados, todas as práticas de manejo e aporte de insumos deverão ser planejados conforme a resposta que o erval pode dar em termos fisiológicos e produtivos. Em outras palavras, os investimentos em cultivares, adubação e outras práticas ou insumos poderão ser adotadas em grau menor, em comparação com talhões com menor intensidade de sombreamento, cujo potencial de produção é maior. Assim, ocorre equilíbrio entre investimento e retorno.

Outro aspecto importante a ser trabalhado é o mercado ao qual a erva colhida será destinada. O preço de venda da erva-mate sombreada é maior que aquela cultivada sob pleno sol. O mesmo acontece com erva-mate orgânica certificada. Neste sentido, os ervais mais sombreados têm potencial de alcançar preço maior e, portanto, investimentos em certificação e no acesso a esses mercados diferenciados podem ser justificados. Outros produtos derivados de erva-mate como cosméticos, suplementos alimentares, bebidas diversas e fármacos também geram maior preço para a matéria-prima, em comparação à erva-mate para chimarrão e devem ser levados em conta no planejamento da comercialização. É importante buscar os mercados certos para os produtos de cada tipo de erval. Ervais sombreados alcançam melhores preços e têm potencial para a certificação e uso em novos produtos, mesmo produzindo menos por área. Ervais cultivados sob pleno sol podem acessar mercado convencional de chimarrão e chás, mas também específicos como cafeína advinda de cultivares clonais. Isso tudo permite valorizar os diferentes tipos de cultivo e fornecer incentivos para produtores que adotam práticas de manejo sustentáveis.

Em resumo, fica clara a possibilidade de cultivar erva-mate, ajustando qual nicho de mercado acessar e adaptando as práticas de manejo a serem adotadas sem, necessariamente, precisar reduzir o sombreamento pré-existente nos talhões e na propriedade.

#### Densidade de plantas

A quantidade de massa foliar a ser colhida está diretamente relacionada ao número de plantas por unidade de área. Em adensamentos de erva-mate, recomenda-se 3.000 plantas/ha, no máximo (Penteado Júnior; Goulart, 2019). Porém, estas recomendações se aplicam em condições de médio e alto nível de adoção de tecnologias e práticas de manejo, onde as plantas expressam seu potencial de produção de biomassa.

Na medida em que a densidade aumenta além do recomendado, espera-se aumento da competição entre as plantas de erva-mate, o que reduz a produção por planta. Porém, em sistemas de produção com baixo aporte de nutrientes ou maior sombreamento, o aumento da densidade pode aumentar a produtividade do talhão (Floss et al., 2009). Essa flexibilidade permite ao agricultor ajustar o número de plantas nos talhões, de acordo com as condições de sombreamento e com o potencial produtivo do erval ou de cada talhão na propriedade.

#### Adubação

A adubação dos cultivos de erva-mate é um dos fatores mais importantes para a produção de biomassa no sistema (Goulart et al., 2022). A cultura da erva-mate possui uma recomendação de adubação para todas as fases do cultivo, do plantio à colheita (Santin et al., 2015), porém, muitos produtores não adotam esta prática em seus ervais (Goulart, 2020).

A adubação para a erva-mate busca fornecer os macronutrientes cálcio, magnésio, fósforo, potássio e nitrogênio, a partir de inúmeras formulações minerais e orgânicas. Existe uma grande possibilidade de adequação do sistema de adubação às realidades de cada erval e mesmo de cada talhão que compõe o erval.

Conforme dito anteriormente, pela importância da adubação para a erva-mate, seguem algumas sugestões neste sentido. Nas propriedades A, B, D e E, analisando sugestão contida em Moreira et al. (2017), seria recomendável uma calagem com aplicação de 5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, para plantas em produção, em solos com capacidade de troca de cátions variando de alta à média, que é o caso dos solos em questão e cujos teores de magnésio estejam baixos ou muito baixos (entre 5 cm e 30 cm), o que também é o caso. Como os teores de potássio estão satisfatórios no solo, não se torna necessário uma adubação potássica pesada, recomendando-se que sejam adicionados ao solo, anualmente, de 26 kg/ha a 50 kg/ha de K<sub>2</sub>O, conforme recomendado pela Moreira et al. (2017), objetivando alcançar uma produtividade na faixa de 8 t/ha a 15 t/ha de erva-mate. Uma vez que os teores de fósforo são muito baixos na camada de 5 cm a 30 cm, nas propriedades A, B, D e E, sugere-se, seguindo também a recomendação proposta pela Moreira et al. (2017), que se aplique de 81 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/ano a 120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/ano, na expectativa de produzir de 8 t/ha a 15 t/ha de erva-mate.

Porém, como ainda não se conhece, com profundidade, a resposta de adubação em ervais com sombreamento variando de alto a muito alto, deve-se proceder a adubação destes ervais com maior cautela. Como visto anteriormente, a sombra afeta a produção de biomassa, porém, mesmo em situações com alto nível de sombreamento existe uma resposta à adubação. Essa resposta é menor em comparação com ervais cultivados com pouca sombra ou sob pleno sol, indicando haver uma correlação entre resposta à adubação e intensidade de sombreamento (Benedetti et al., 2016). Estes autores mostraram que ervais com nível médio de sombreamento e submetidos à adubação orgânica, a produtividade alcançou 6,2 t/ha, enquanto que, no erval com baixo nível de sombreamento e não adubado a produtividade foi 6,7 t/ha. Isto deixa claro que o manejo simultâneo do sombreamento e da adubação, em condições diferentes, pode resultar em produtividades muito similares.

Nos ervais ou talhões com baixo nível de sombreamento, pode-se aplicar doses totais ou próximas destas e, nos ervais mais sombreados, doses menores, de preferência frações da adubação recomendada. Como resultado, o produtor teria um menor custo de produção com algum incremento de biomassa.

#### Sistema de poda e Intervalo entre colheitas

A produção de biomassa pelas erva-mates pode ser influenciada pelas podas de diversas formas, sobretudo pelo remanescente de copa mantido após a colheita e pelo intervalo de colheita praticado (Santin et al., 2010, 2017, 2019).

Atualmente, a recomendação de poda é que o intervalo entre colheitas seja de 18 meses para ervais sob pleno sol e sombreados até 30%, adensamentos com baixo nível de sombreamento (30%) e ervais arborizados, e de 24 meses para ervais com níveis médios de sombreamento (30% a 50%) e altos (maior que 50%), bem como para ervais sem adubação (Penteado Júnior; Goulart, 2019; Santin et al., 2017, 2019). Dois aspectos são relevantes para estas recomendações, o primeiro é a proporção de ramos finos e folhas, que é maior com 18 meses em comparação com 24 meses (Santin et al., 2019). Além disso, o tempo de vida das folhas de erva-mate é aproximadamente

18 meses sob pleno sol e 24 meses sob sombreamento, decrescendo naturalmente após este período (Rakocevic et al., 2006). No Brasil, o intervalo de colheita praticado varia entre 16 e 31 meses (Goulart, 2020).

A manutenção de 20% a 30% da copa das erveiras após a colheita é outro aspecto relacionado com a produção de biomassa (Santin et al., 2010). Entretanto, essa recomendação não é adotada pela maioria (90%) dos ervais brasileiros (Goulart, et al., 2022). Essa prática é fundamental para a recuperação das plantas até a próxima safra, pois a produção de biomassa continua por este remanescente de copa. Podas drásticas forçam as erveiras a consumir as reservas nutricionais das raízes por causa da ausência de folhas e interrupção da fotossíntese.

Além dos aspectos levantados acima, do ponto de vista financeiro, a poda de baixeiro é um fator importante para a produtividade (Goulart et al., 2022). Embora retire do talhão boa quantidade de biomassa, representa renda ao produtor geralmente nas entressafras.

A adoção adequada dessas e de outras recomendações relativas ao sistema de poda permite ao produtor produzir mais biomassa e renda com a erva-mate.

#### Outras práticas de manejo

No caso do manejo de plantas daninhas, sabe-se que não existem herbicidas registrados para uso na cultura da erva-mate (Penteado Júnior; Goulart, 2019). O uso indiscriminado desses produtos induz à erosão, perda de matéria orgânica, perda de nutrientes, redução de inimigos naturais e outros, pelo fato de o solo permanecer descoberto.

Adotar, total ou parcialmente, práticas recomendadas pela pesquisa como o Sistema Erva 20 (Penteado Júnior; Goulart, 2019) e estabelecer um protocolo de cuidados para o sistema produtivo auxilia o produtor a dimensionar não apenas a mão de obra necessária para conduzir o cultivo, mas também a conhecer os momentos críticos do mesmo, contribuindo para o alcance do máximo potencial produtivo, preservando os estoques de carbono e gerando renda, seja o sistema conduzido com sombreamento ou sob pleno sol.

#### Potencial de mitigação de CO<sub>2</sub>

Quando se analisa a tendência da relação entre o CO<sub>2</sub> mitigado pelos sistemas de produção da erva-mate, tendo como base o C ecossistêmico e a produtividade dos ervais, observa-se uma relação negativa, onde o CO<sub>2</sub> mitigado aumenta à medida que a produtividade da erva-mate diminui (Figura 15). Essa relação inversa também é condicionada pelas características dos sistemas de produção, principalmente pelo nível de sombreamento dos ervais, atuando no aumento da capacidade de mitigação. Porém, se o sombreamento for superior a 30%, ocorrerá a redução na produtividade do erval.

A comparação entre os valores médios dos sistemas adensados e sob pleno sol dão conta de que o CO<sub>2</sub> mitigado, exceto aquele proveniente da biomassa vegetal da erva-mate, diminuiu 56% (94 tC/ha ou 345 tCO<sub>2</sub>/ha), enquanto a produtividade do erval aumentou 172% (7,4 t/ha/ano).

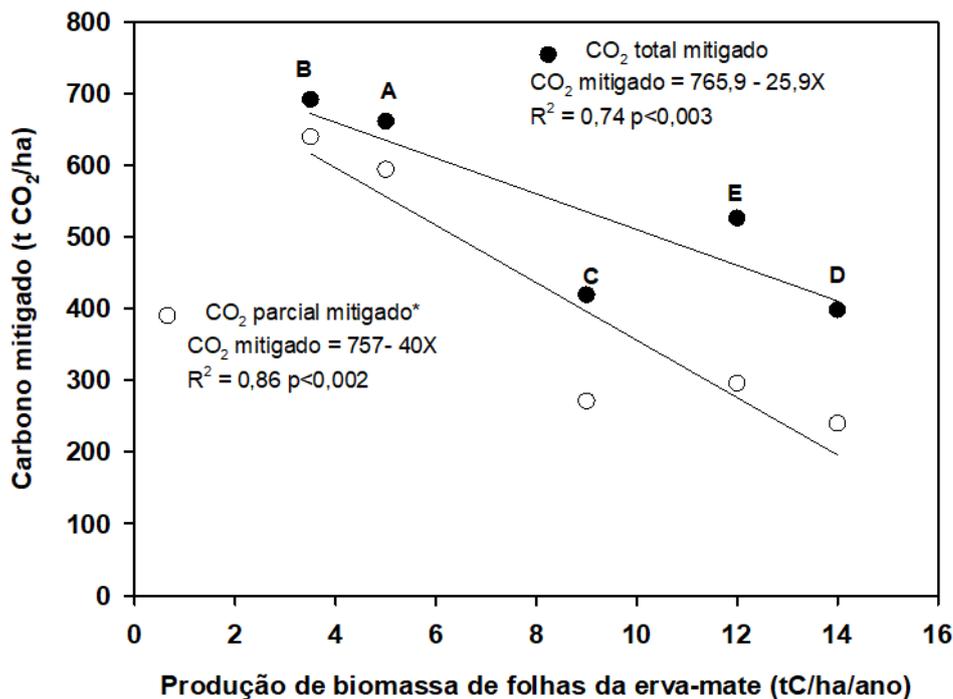
Adotando como premissas a média de idade e de altura dos ervais e utilizando a equação alométrica de estimativa de carbono da erva-mate (Equação 1), o ganho em produtividade da erva-mate sob pleno sol não seria suficiente para compensar a perda de carbono observada no sistema de produção, para o qual seria necessário um adicional de 10,5 t/ha/ano.

Não é desejável que o estoque de carbono seja reduzido para se elevar a produtividade, assim, deve-se procurar compensá-lo não só pelo aumento da produtividade da erva-mate, mas também com outras práticas de manejo que potencialmente contribuam ao carbono dos demais compartimentos, como C serapilheira e C do solo.

Proposta de planejamento de sistemas de produção de erva-mate com foco em carbono e retorno financeiro

Com base na discussão acima, propõe-se um planejamento estratégico dos ervais, buscando otimizar a produção de biomassa no sistema como um todo, e a geração de renda. Este planejamento será elaborado considerando as tecnologias e práticas adotadas, a intensidade de adoção, o mercado a alcançar, além dos níveis de sombreamento.

A estes fatores, juntam-se as premissas de adequar a adoção e a intensidade de adoção ao nível de sombreamento de cada erval ou talhão, investindo-se mais, em talhões de melhor potencial produtivo, como aqueles com nível baixo de sombreamento; adotar práticas com maior potencial de acúmulo de carbono no sistema (plantas de cobertura; adubação orgânica; manutenção de galhos



**Figura 15.** Relação entre a produtividade de biomassa de folhas de erva-mate em cada sistema de produção e o carbono total e parcial\* mitigado. \*Descontado o carbono da biomassa vegetal da erva-mate. A- Adensamento com nível baixo de sombreamento . B- Adensamento com nível muito alto de sombreamento. C- Sob pleno sol e com cobertura de solo. D- Sob pleno sol e sem cobertura de solo. E- Sob pleno sol e com serapilheira.

grossos em pós-colheita e cultivares com genética conhecida; arborizar ervais (sombreamento controlado, sem perda ou com perda mínima de produção); ajustar o produto comercial ao mercado de melhor preço e, finalmente, planejar a propriedade respeitando a aptidão de cada talhão.

Seguindo as premissas no planejamento, esperam-se os seguintes resultados: ajuste do investimento feito pelo produtor ao potencial de retorno de cada erval/talhão; ajuste da intensidade da adoção ao potencial de resposta do erval/talhão; ajuste do produto comercial obtido ao mercado adequado, obtendo melhor preço; otimização do acúmulo de carbono no sistema, no médio e longo prazos; otimização da obtenção de renda de cada talhão, pela redução de custos e, ou maior preço de venda; equilíbrio entre custo de produção e produtividade; manutenção da biodiversidade dos remanescentes florestais nativos, e aderência à agenda climática e ambiental global, a partir de melhorias locais.

Deste modo, sugere-se três níveis de investimento associados às práticas específicas de manejo:

- Investimento alto em áreas de ervais sob pleno sol, com uso de cultivares clonais e, ou semi-nais, densidade de plantio menor, proteção das mudas no plantio, adubação, proteção do solo com cobertura vegetal leguminosa ou consórcio, arborização com espécies nativas, adubação organomineral em dose cheia, colheitas aos 18 meses, manter galhos grossos nos talhões e controle de pragas;
- Investimento médio em adensamentos de ervais com nível intermediário de sombreamento, adotando maior densidade de plantio, variedades de origem local, adubação em doses parciais com foco em orgânicos ou organominerais, cobertura vegetal com gramínea ou roçada, colheitas aos 18 ou 24 meses, manutenção dos galhos grossos no talhão após a colheita, controle de pragas em caso de dano expressivo e possível certificação orgânica. Neste caso, volumes médios de produção seriam obtidos, alcançando mercado para erva-mate sombreada, chimarrão e chás, e nichos de produtos certificados;
- Finalmente, sugere-se baixo investimento em ervais com alto nível de sombreamento, recomendando-se adubação orgânica mínima, apoiada na ciclagem de nutrientes, colheitas a cada 24 meses ou mais, dependendo da recuperação das erveiras. Após a colheita, manter galhos grossos nos talhões. Com este porte de investimento os objetivos da produção seriam chás, novos produtos, chimarrão gourmet e nichos de produtos certificados.

A sugestão de estratégia de planejamento de ervais apresentada anteriormente deve ser realizada pelo produtor em conjunto com profissionais de assistência técnica. Além do resumo apresentado, um planejamento completo envolve visitas nas áreas, reuniões com o produtor, análises de solo, detalhamento das práticas de manejo adotadas e seus custos, entre outros aspectos necessários.

## Necessidade de futuros estudos

O estudo atual indica a possibilidade de otimizar o desempenho dos sistemas produtivos de erva-mate, porém são necessários novos estudos para considerar algumas variáveis, tais como:

- Determinar o nível de sombreamento máximo que garanta alta produtividade e maior viabilidade financeira;
- Determinar a quantidade de luz incidente por meio de técnicas eficientes e precisas, em ervais com diferentes níveis de sombreamento, relacionando com o número/espécies de árvores nativas que não erveira;

- Aprimorar as pesquisas em busca de informações mais definidas para adubação efetiva de ervais sombreados;
- Pesquisar frequência e intensidades de poda ideais para os diferentes níveis de sombreamento;
- Indicar espaçamento e densidade de plantio específicos para os diferentes sistemas de produção, considerando que o produto final a ser colhido é a folha, que depende da resposta da planta à incidência de luz e da quantidade de massa foliar a ser colhida. Essas variáveis estão diretamente relacionadas ao número de plantas por unidade de área e ao manejo das podas. Conhecer essas variáveis também permite determinar a necessidade de insumos químicos ou naturais;

Estimular a adoção de espaçamentos recomendados atualmente e investigar espaçamentos adequados para diferentes níveis de sombreamento dos ervais, seja em situações de adensamento ou arborização, sempre associando com boas práticas de manejo. A densidade de plantas é relacionada com a arquitetura das erveiras e com o sistema de podas, sobretudo no intervalo entre colheitas e na intensidade das podas;

- Definir e otimizar o intervalo entre as colheitas de erva-mate, a fim de cortar as folhas no momento em que as erveiras atingem sua máxima produtividade. Isso evita desperdícios e o desgaste das erveiras ao longo do tempo;
- Estabelecer um protocolo de manejo e tratos culturais para o sistema produtivo, auxiliando o produtor a dimensionar não apenas a mão de obra necessária para conduzir o sistema, mas também a conhecer os momentos críticos do sistema;
- Aprofundar as diferenças na qualidade da bebida proveniente de ervais sombreados e sob pleno sol. As diferenças nas propriedades organolépticas da bebida em função do ambiente de cultivo (manejo da cultura, tipo de solo, níveis de sombreamento e outros fatores ambientais) permitirá ao produtor valorizar mais o seu produto e talvez estabelecer uma “origem certificada” para a erva-mate;
- Buscar alternativas de comercialização para garantir preços diferenciados para a erva-mate cultivada em áreas sob pleno sol, sombreadas e em áreas certificadas. Isso permitirá valorizar os diferentes tipos de cultivo e fornecer incentivos para produtores que adotam práticas de manejo sustentáveis.

## Agradecimentos

À Prefeitura Municipal de Cruz Machado, representada pelo Prefeito Antonio Luis Szaykowski e à Secretaria da Agricultura representada pelos senhores: Silmar Kazenoh e Sidnei MilczukeWilfrid Kirschner.

Aos produtores Leopoldo Semelmann, José Soares, Naldo Vaz e Lauro Naumiuk e suas famílias, que prontamente abriram as porteiras de suas propriedades para que coletássemos as informações.

Aos alunos da Casa Familiar Rural, Kalebe Capelete, Rafael Schran Zawadski e Vanessa Zavadski, que ajudaram no trabalho de campo.

Aos técnicos da Embrapa Florestas Ozias Nunes da Veiga e Marcos Gonçalves Tenório que contribuíram na coleta das amostras de solo.

A Engenheira Florestal, Dra. Jéssica Tomasi, que durante sua passagem pela Fundação Solidaridad, contribuiu efetivamente para o desenvolvimento de um ambiente facilitador, possibilitando grandes e estratégicos avanços ao projeto.

E por fim, ao grupo Coca-Cola que através de apoio e investimentos, possibilitou a realização deste estudo, através do projeto: Erva Mate Brasil - Fortalecendo as boas práticas na cadeia produtiva, em especial aos senhores(as): Rodrigo Brito (The Coca-Cola Company), Katielle Haffner (The Coca-Cola Company), Fabiano Rangel (Leão, grupo Coca-Cola Brasil) e Clauriane Stele (Leão, grupo Coca-Cola Brasil).

## Referências

- ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. J. M.; CORRÊA, G. **Geração da curva alométrica para avaliar as reservas de carbono em plantios de Erva-Mate, no Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 19 p. (Embrapa Florestas. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 33).
- ARCO-VERDE, M. F.; AMARO, G. **Análise financeira de sistemas agroflorestais**. Colombo: Embrapa Florestas; Roraima: Embrapa Roraima, 2021. 67 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 357; Embrapa Roraima. Documentos, 71). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/231531/1/EmbrapaFlorestas-2021-Documentos357.pdf>.
- BAYER, C.; DIECKOW, J.; CONCEIÇÃO, P. C.; SANTOS, J. C. F. Sistemas de manejo conservacionista e qualidade de solos, com ênfase na matéria orgânica. In: BERTOL, I.; De MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. (ed.). **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. p. 315-344.
- BENEDETTI, E. L.; DALLABRIDA, V. R. Aspectos da multifuncionalidade no Planalto Norte Catarinense: adubação orgânica no incremento da produção de erva-mate. **DRd - Desenvolvimento Regional em Debate**, v. 6, n. 2, p. 147-169, 2016. DOI: <https://doi.org/10.24302/drd.v6i2.1196>.
- BRACESCO, N.; SANCHEZ, A. G.; CONTRERAS, V.; MENINI, T.; GUGLIUCCI, A. Recent advances on *Ilex paraguariensis* research: Minireview. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 136, n. 3, p. 378-84, 2011.
- BUARQUE, C. **Avaliação econômica de projetos**: uma apresentação didática. Rio de Janeiro: Elsevier, 1984. 266 p.
- CROGE, C. P.; CUQUEL, F. L.; PINTRO, P. T. M. Yerba mate: cultivation systems, processing and chemical composition. A review. **Scientia Agricola**, v. 78, n. 5, e20190259, 2021.
- DAVIS, J. L. **Balanco de CO2 na biomassa e nos solos de áreas agrícolas no Brasil em um cenário baixo carbono**. 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte.
- DENARDIN, R. B. N.; MATTIAS, J. L.; WILDNER, L. P.; NESI, C. N.; SORDI, A.; KOLLING, D. F.; BUSNELLO, F. J.; CERUTTI, T. Estoque de carbono no solo sob diferentes formações florestais, Chapecó - SC. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 59-69, 2014.
- EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. **IPCC Guidelines for national greenhouse gas Inventories**: Agriculture, forestry and other land use. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan: IGES, 2006. v. 4.
- FLOSS, P. A.; DA CROCE, D. M.; NESI, C. N. Produção de erva-mate consorciada com cinamomo e louro-pardo. **Agropecuária Catarinense**, v. 22, n. 2, p. 63-68, 2009. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/rac/article/view/820>.
- GAIAD, S. (ed.). **Sistemas de produção**: cultivo de erva-mate. 2. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2010.
- GAN, R. Y.; ZHANG, D.; WANG, M.; CORKE, H. Health benefits of bioactive compounds from the genus *Ilex*, a source of traditional caffeinated beverages. **Nutrients**, v. 10, n. 11, p. 17, 2018.
- GOULART, I. C. G. R. **Fatores que afetam a produtividade e a adoção de tecnologias na cultura da erva-mate**. 2020. 107 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- GOULART, I. C. G. dos R.; SANTIN, D.; BRASILEIRO, B. P. Fatores que afetam a produtividade na cultura da erva-mate. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 3, p. 1345-1367, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509863661>.
- HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**: aplicações práticas para economistas, engenheiros, analistas de investimentos e administradores. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1998. 407 p.

- IBGE. **Produção agrícola**: lavoura permanente. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/pesquisa/15/11941>. Acesso em: 04 maio 2023.
- KÖGEL-KNABNER, I.; GUGGENBERGER, G.; KLEBER, M.; KANDELER, E.; KALBITZ, K.; SCHEU, S.; EUSTERHUES, K.; LEINWEBER, P. Organo-mineral associations in temperate soils: integrating biology, mineralogy and organic matter chemistry. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 171, p. 61-82, 2008.
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Carbon and nitrogen addition related to stocks of these elements in soil and corn yield under management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 175-187, 2008.
- MAPBIOMAS. **Solo**. 2023. Disponível em: [https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/o?activeBaseMap=9&layersOpacity=100&activeModule=soil&activeModuleContent=soil%3Asoil\\_main&activeYear=2021&mapPosition=-15.114553%2C-51.459961%2C4&timelineLimitsRange=1985%2C2021&baseParams\[territoryType\]=1&baseParams\[territories\]=1-%2C750%2C751%2C752&baseParams\[activeSubmodule\]=soil\\_main](https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/o?activeBaseMap=9&layersOpacity=100&activeModule=soil&activeModuleContent=soil%3Asoil_main&activeYear=2021&mapPosition=-15.114553%2C-51.459961%2C4&timelineLimitsRange=1985%2C2021&baseParams[territoryType]=1&baseParams[territories]=1-%2C750%2C751%2C752&baseParams[activeSubmodule]=soil_main). Acesso em: 03 maio 2023.
- MARCOS, D. P.; FRIEDRICH, F.; SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P. Compartimentação do estoque individual de carbono em uma plantação comercial de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.- Hil.). UFPR. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 2, p. 168-173, 2020.
- MAYOL, R. M.; GIANCOLA, S. I.; LAVECINI, M. V.; AIASSA, J. F.; DI GIANO, S.; SALVADOR, M. L.; RIVA, M. da; ACUÑA, D. O.; RABAGLIO, M. D. **Causas que afectan la adopción de tecnología en productores de yerba mate en la provincia de Misiones**: enfoque cualitativo. Buenos Aires: INTA, 2014. p. 74. (Estudios socioeconómicos de la adopción de tecnología, 8).
- MEDRADO, M. J. S.; VILCAUHAMÁN, L. J. M. Importância socioeconômica e ambiental. In: GAIAD, S. (ed.). **Sistemas de produção**: Cultivo de erva-mate. 2. ed. Embrapa Florestas, 2014.
- MENDES, J. T. G. **Economia**: fundamentos e aplicações. São Paulo: Prentice Hall, 2004. 309 p.
- MOREIRA, A.; MOTTA, A. C. V.; COSTA, A.; MUNIZ, A. S.; CASSOL, L. C.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; BATISTA, M. A.; MÜLLER, M. M. L.; HAGER, N.; PAULETTI, V. (ed.). **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: SBCS, Núcleo Estadual do Paraná, 2017. 482 p.
- MOKANY, K.; RAISON, R. J.; Prokushkin, A. S. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. **Global Change Biology**, v. 12, p. 84-96, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00104.3.x>.
- PALACIOS, P. I. C. **Sistemas de cultivo de erva-mate**: atributos físicos, indicadores de qualidade e estoque de carbono num Latossolo Vermelho Aluminoférrico. 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. R. **Erva 20**: Sistema de produção para erva-mate. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 152 p.
- PEIXOTO, R. T. G.; SILVA, K.; FERREIRA, T.; PARRON, L. M.; CAMPOS, I. B.; GIAROLA, N. F. B.; FOGAÇA, A. M.; PAULA, A. L.; PEPE, K. B. F.; DEMETRIO, W. C.; BECKER, R. K.; BRUZ, L. S. M.; SANTOS, A.; SÁTIRO, J. N.; BROWN, G. G.; LACERDA, A. E. B. **Indicadores de qualidade do solo em sistemas de produção de erva-mate sombreado, integrado e sob pleno sol**: estudo de caso em Bituruna, PR. Colombo: Embrapa Florestas, 2022. 55 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 383).
- PEREIRA, J. R. **Erva-mate**: 2022/2023. Curitiba: Secretaria de Agricultura e do Abastecimento do Paraná, Departamento de Economia Rural, 2022. (Prognóstico agropecuário, v. 43, n. 47). Disponível em: [https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos\\_restritos/files/documento/2022-12/prognostico\\_2022\\_erva\\_mate.pdf](https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2022-12/prognostico_2022_erva_mate.pdf). Acesso em: 03 maio 2023.
- RACHWAL, M. F. G.; ZANATTA, J. A.; GOULART, I. C. G. R.; WENDLING, I. **Inclusão da erva-mate no plano ABC**. 0 1 mar. 2021. 14 p. Nota técnica. Não publicado.
- RAKOCEVIC, M.; MEDRADO, M. J. S.; LUCAMBIO, F.; VALDUGA, T. A. Ritmicidade de emissão e de queda de folhas e as suas consequências no manejo da erva-mate. In: CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 2006, Posadas. **Actas** [...] Posadas: INTA, 2006. p. 250-256.
- RATUCHNE, L. C. **Equações alométricas para a estimativa de biomassa, carbono e nutrientes em uma floresta ombrófila**. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava.
- SANTIN, D.; WENDLING, I.; BENEDETTI, E. L.; BRONDANI, G. E.; REISSMANN, C. B.; MORANDI, D.; ROVEDA, L. F. Poda e anelamento em erva-mate (*Ilex paraguariensis*) visando à indução de brotações basais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 56, p. 97-104, 2010.

SANTIN, D.; REISSMANN, C. B.; BENEDETTI, E. L. Nutrição e recomendação de adubação e calcário para a cultura da erva-mate. In: WENDLING, I.; SANTIN, D. (ed.). **Propagação e nutrição de erva-mate**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 99-195.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E.; BARROS, N.; ALMEIDA, I.; WENDLING, I. Intervalos de colheita e adubação potássica influenciam a produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) no estado do Paraná. **Floresta**, v. 46, p. 509, 2017.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; BARROS, N. F. de; ALMEIDA, I. C. de; SIMIQUELI, G. F.; NEVES, J. C. L.; WENDLING, I.; REISSMANN, C. B. Adubação nitrogenada e intervalos de colheita na produtividade e nutrição da erva-mate e em frações de carbono e nitrogênio do solo. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1199-1214, 2019.

SANTOS, G. J. dos; MARION, J. C.; SEGATTI, S. **Administração de custos na agropecuária**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 165 p.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 76, p. 39-58, 2004.

SMITH, P.; AHAMMAD, H.; CLARK, H.; DONG, H.; ELSIDDIG, E. A.; HABERL, H.; HARPER, R.; HOUSE, J.; JAFARI, M.; MASERA, O.; MBOW, C.; RAVINDRANATH, N. H.; RICE, C. W.; ABAD, C. R.; ROMANOVSKAYA, A.; SPERLING, F.; TUBIELLO, F. N. Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In: EDENHOFER, O.; PICHES-MADRUGA, R.; SOKONA, Y.; FARAHANI, E.; KADNER, S.; SEYBOTH, K.; ADLER, A.; BAUM, I.; BRUNNER, S.; EICKEMEIER, P.; KRIEMANN, B.; SAVOLAINEN, J.; SCHLÖMER, S.; STECHOW, C. VON; ZWICKEL, T.; MINX, J. C. (ed.). **Climate change 2014: mitigation of climate change**. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

SUERTEGARAY, C. E. de O. **Dinâmica da cultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em sistemas agroflorestais e monocultivos**. 2002. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Santa Catarina, Florianópolis.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

VELOSO-GOMES, M.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; HIGA, R. C. V.; BREVILIERI, R. C.; COMERFORD, N. B.; STOPPE, A. M. Reforestation with loblolly pine can restore the initial soil carbon stock relative to a subtropical natural forest after 30 years. **European Journal of Forest Research**, v. 137, p. 593-604, 2018.

ZERBIELLI, L. C. **Produtividade, luminosidade, composição química e qualidade da erva-mate**. 2016. 47 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava.

**Embrapa**

---

**Florestas**

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA E  
PECUÁRIA



CGPE 018412