Estimativa do estoque de carbono no cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/ Sudoeste Mineiro

Relatório de Pesquisa - 2024

Embrapa Territorial
Fundecitrus

Relatório de Pesquisa

Estimativa do Estoque de Carbono no Cinturão Citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro

Organizadores

Embrapa Territorial
Fundecitrus

2024

Embrapa Territorial
Av. Soldado Passarinho, nº 303
Fazenda Chapadão
13070-115, Campinas, SP
Fone: (19) 3211.6200
www.embrapa.br/territorial
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Fundecitrus
Av. Adhemar Pereria de Barros, 201
Vila Melhado
14807-040, Araraquara, SP
Fone: (16) 3301.7000 / 0800 110 2155
www.fundecitrus.com.br

Equipe

Embrapa Territorial, Campinas, SP

Gustavo Spadotti Amaral do Castro
Chefe-geral

Lucíola Alves Magalhães
Chefe-adjunta de P&D

Lauro Rodrigues Nogueira Junior
Pesquisador líder do projeto

Carlos Cesar Ronquim
Rogério Resende Martins Ferreira
Pesquisadores responsáveis pela pesquisa

Paulo Franzin
Técnico de campo

Vivian Chies
Analista responsável pela Comunicação

Fundecitrus, Araraquara, SP

Lourival Carmo Monaco
Presidente

Antonio Juliano Ayres
Gerente-geral

Vinícius Gustavo Trombin
Coordenador-executivo da PES

Fernando Alvarinho Delgado
Supervisor da PES

Roseli Reina
Especialista da PES

José Carlos Barbosa
Analista de metodologias e professor titular (voluntário) do Departamento de Ciências Exatas da FCAV/Unesp

Alexandre Antônio Lino
Cléber Ângelo Albino
Guilherme Barbosa
Jeferson Vermelho
Marcos Barbosa
Vladimir Pereira
Agentes de pesquisa da PES

Sumário

Resumo Executivo.....9

Metodologia.....11

Áreas de Pomares e Áreas de Preservação das Propriedades Citrícolas.....11

Estimativa da biomassa e do carbono das laranjeiras produtivas.....19

Eestimativa dos estoques de carbono das áreas destinadas à preservação ambiental.....21

Estimativa dos estoques de carbono do solo na camada de 0-30 cm.....25

Agradecimentos.....29

Referências.....29

Resumo Executivo

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e o Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus) iniciaram, em 2022, um trabalho conjunto de investigação científica para quantificar os estoques de carbono (C) no cinturão citrícola dos estados de São Paulo e Minas Gerais (Triângulo Mineiro e Sudoeste). A pesquisa recebeu aporte de recursos da empresa britânica Innocent Drinks, após ter sido selecionada em um edital público do fundo de inovação da companhia (Farmer Innovation Fund) com foco na mitigação das mudanças climáticas. Ela visou fornecer dados sobre estocagem de C no segmento, de forma inédita, e envolveu tanto os pomares adultos de laranja das principais variedades quanto as áreas destinadas à preservação da vegetação nativa das propriedades citrícolas.

Foram utilizadas metodologias específicas para quantificar os estoques de C nas áreas dos pomares de laranja com idade igual ou superior a 3 anos e nas áreas dedicadas à preservação ambiental (áreas de preservação permanente, áreas de reserva legal e áreas de vegetação nativa excedente). Nos pomares e nas áreas de preservação, os reservatórios mensurados foram a biomassa das plantas e a camada de 0-30 cm do solo. No cálculo da biomassa das laranjeiras, foram consideradas as principais variedades, que incluem, por ordem de importância no cinturão citrícola: Pera Rio, Valência, Hamlin, Natal, Valência Americana, Valência Folha Murcha, Rubi, Westin, Pineapple, Alvorada, Seleta. Nesses pomares, foram consideradas apenas as árvores com a mesma idade do talhão. Dessa forma, as replantas com idade inferior à do talhão não foram consideradas no cálculo. A partir da avaliação de 80 laranjeiras de pomares comerciais, foi desenvolvida uma equação alométrica que possibilitou, a partir de dados biométricos de milhares de laranjeiras (altura, diâmetro do tronco e diâmetro dos galhos secundários), calcular a biomassa de aproximadamente 162 milhões de laranjeiras produtivas com elevado grau de confiança.

Estimamos que o cinturão citrícola estocou 36,332 milhões de toneladas de C, e que os pomares foram responsáveis por 60% desse estoque e as áreas de preservação, por 40% (Figura 1).

Naturalmente, mesmo tendo quantificado apenas o C do solo na camada de 0-30 cm, o solo foi o maior reservatório, estocou 19,761 milhões de toneladas de C, 55% do total do estoque de C. Por sua vez, as laranjeiras com idade igual ou superior a 3 anos, em fase produtiva, estocaram 8,44 milhões de toneladas de C, 23% do total do estoque de C. A área avaliada abrangeu 496,72 mil hectares, 68% dela ocupada por pomares e 32% ocupada por áreas destinadas à preservação ambiental.

Os resultados demonstram que ambas as áreas avaliadas dispõem de um bom estoque de C por hectare (Figura 2): 64 toneladas por hectare de C nos pomares e 92, nas áreas de preservação. Só na biomassa das laranjeiras, os pomares estocaram, em média, 25 toneladas por hectare de C, similar a alguns tipos de vegetação do bioma Cerrado, como a Savana Gramíneo-Lenhosa por exemplo.

Os resultados apresentados podem servir como baseline para o setor, especialmente quanto ao C da biomassa viva das laranjeiras dessa grande região citrícola. Os resultados também servem para uso pelos elos da cadeia produtiva envolvidos, visando a agregação de valor aos produtos derivados da citricultura e indo ao encontro de um dos princípios de ESG (Environmental, Social and Governance) e compromissos ambientais que muitas empresas adotam. Em termos governamentais e de políticas públicas, seja de caráter federal, estadual ou municipal, eles podem apoiar uma melhor estimativa de emissões, de redução de emissões e de remoção de gases de efeito estufa (GEE) da atmosfera e, com isso, podem favorecer o estabelecimento de metas e a negociação de acordos

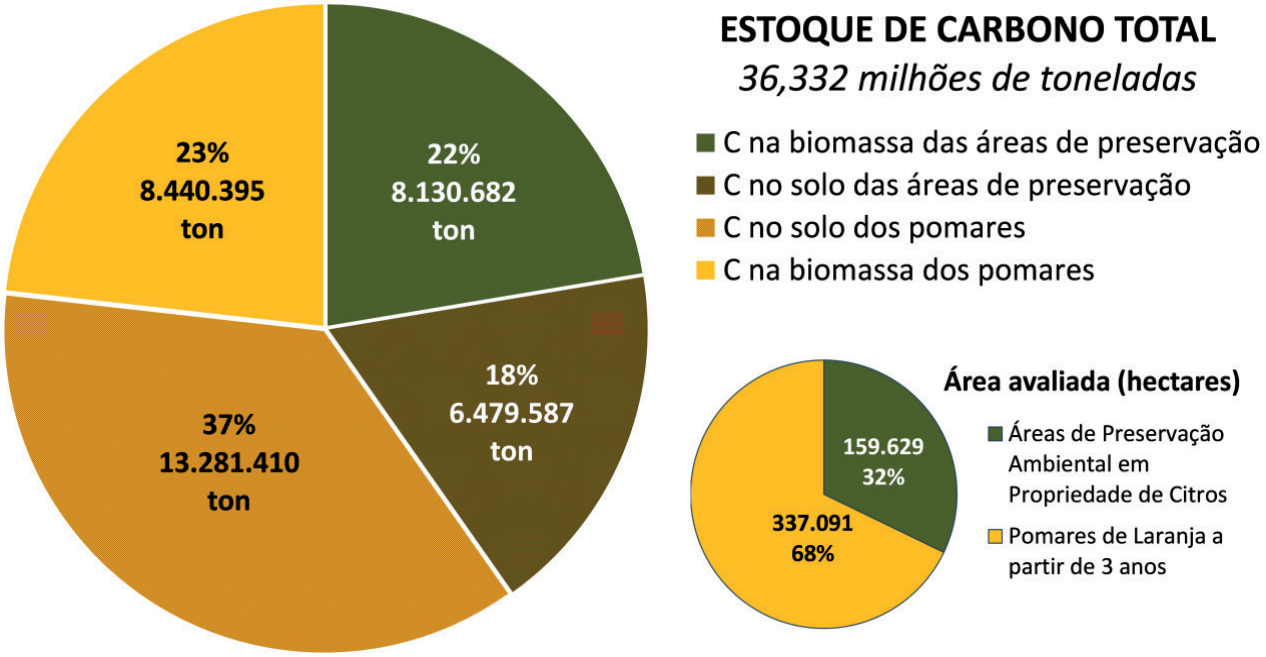

Figura 1. Estoque de C (% e toneladas) na biomassa e no solo (camada de 0-30 cm) e área avaliada (hectares) dos pomares e das áreas destinadas à preservação ambiental das propriedades citrícolas do cinturão de São Paulo e Triângulo/Sudoeste de Minas Gerais.

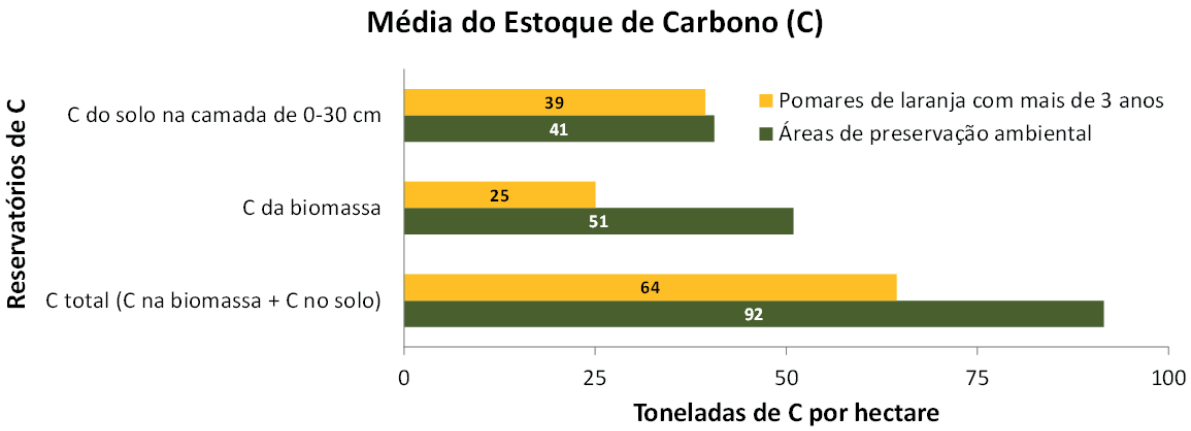

Figura 2. Média do estoque de carbono (C), em toneladas por hectare, nos reservatórios estudados das áreas dos pomares de laranja a partir de 3 anos de idade e das áreas destinadas à preservação ambiental em propriedades de citros do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste de Minas Gerais.

setoriais, municipais, estaduais, nacionais e internacionais, entre outros. Em termos técnicos e científicos, eles podem favorecer as análises de ciclo de vida e pegada do C na citricultura, o estabelecimento de iniciativas que visem à mitigação das mudanças climáticas, como o mercado de C e o pagamento por serviços ambientais, bem como o manejo e a renovação dos pomares. Nesse contexto: *consideramos que os estoques de C nos pomares e nas áreas destinadas a preservação ambiental desse importante cinturão citrícola evidenciam as contribuições dos produtores de laranja para a mitigação das mudanças climáticas globais.*

E como nós chegamos a esses resultados? Nós pesquisamos, fomos a campo, fizemos levantamentos amostrais, usamos métodos robustos e fontes oficiais de dados e informações. Conforme descrito nos próximos tópicos, alcançamos esses resultados em quatro passos: 1º) Calculamos, em hectares,

as áreas dos pomares e as áreas de preservação; 2º) Estimamos o estoque de C das laranjeiras nos pomares; 3º) Estimamos o estoque de C na vegetação das áreas de preservação ambiental existentes em propriedades citrícolas; e 4º) Estimamos os estoques de C na camada de 0-30 cm do solo dos pomares e das áreas de preservação.

Em conformidade com a Política de Gestão das Informações da Pesquisa de Estimativa de Safra (PES) do Fundecitrus, todos os processamentos que envolveram dados relativos ao inventário de árvores foram conduzidos exclusivamente por colaboradores da PES. Informações e dados individualizados relativos aos pomares das propriedades rurais coletados para fins da PES não foram compartilhados com a Embrapa. Tais dados são armazenados nos servidores do Fundecitrus, em um banco de dados isolado da internet, com portas de entrada/saída de dados bloqueadas, impossibilitando conexões com dispositivos periféricos. Essas medidas garantem a segurança e a integridade dos dados, além de salvaguardar informações críticas, e preservam o sigilo das informações individualizadas de cada talhão e a identidade dos citricultores.

Metodologia

Áreas de Pomares e Áreas de Preservação das Propriedades Citrícolas

O primeiro passo foi calcular, em hectares, as áreas dos pomares e as áreas de preservação (Figura 3). O total de 337,091 hectares de áreas dos pomares produtivos a partir de 3 anos foi calculado a partir dos dados do “Inventário de Árvores do Cinturão Citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro: Cenário em Março de 2023” (Fundecitrus et al., 2023). O total de 159,629 hectares de áreas de preservação foi calculado por meio dos dados oriundos do Sistema Nacional do Cadastro Ambiental Rural (SICAR, 2023), utilizando a metodologia da Embrapa Territorial (2023), conforme o “Inventário de Árvores do Cinturão Citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro: Cenário em Março de 2022” (Fundecitrus et al., 2023).

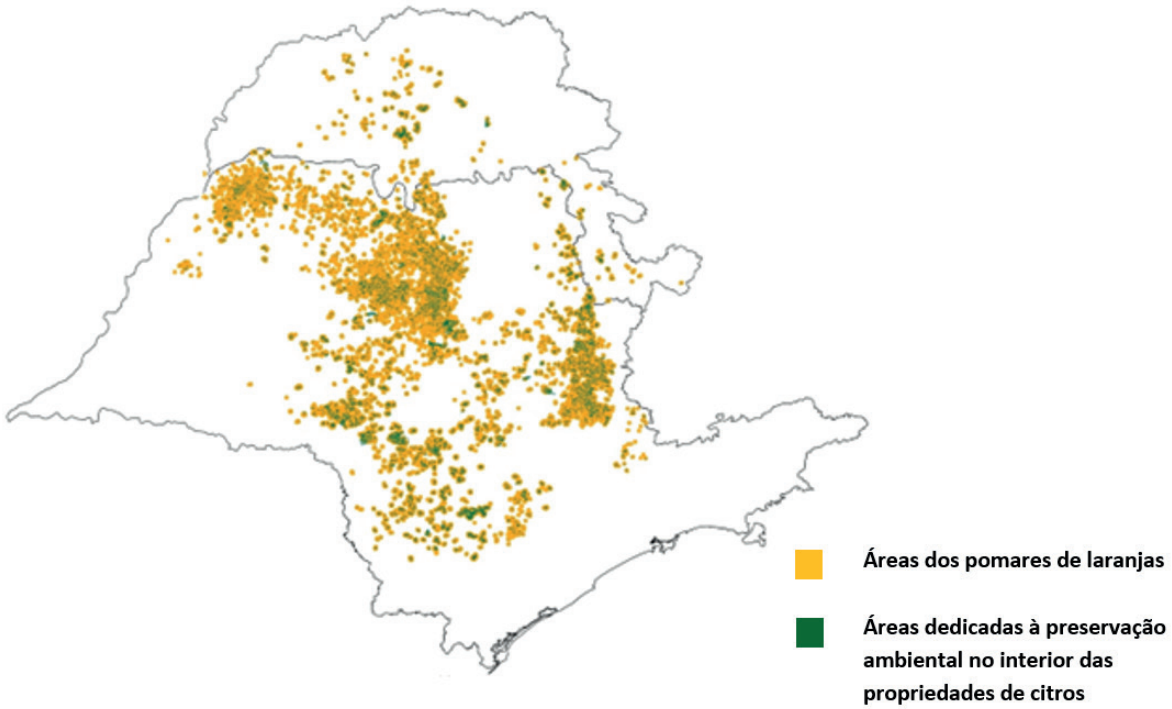

Figura 3. Localização das áreas dedicadas à preservação ambiental no interior das propriedades de citros e das áreas de pomares de laranja.

Estimativa dos estoques de carbono dos pomares de laranja a partir de 3 anos

No segundo passo, determinamos os estoques de C, em toneladas por hectare, das diferentes classes de idade e variedades de laranja dos pomares, conforme descrito a seguir.

Avaliação de 80 laranjeiras pelo método direto

O estudo sobre a biomassa e o conteúdo de C de laranjeiras foi conduzido em três fazendas de citros, localizadas nos municípios de Espírito Santo do Turvo, Iaras e Santa Cruz do Rio Pardo (Figura 4), na região centro-sudoeste do estado de São Paulo, Brasil. Esses municípios estão localizados na região denominada de Duartina nos inventários de árvores do Fundecitrus.

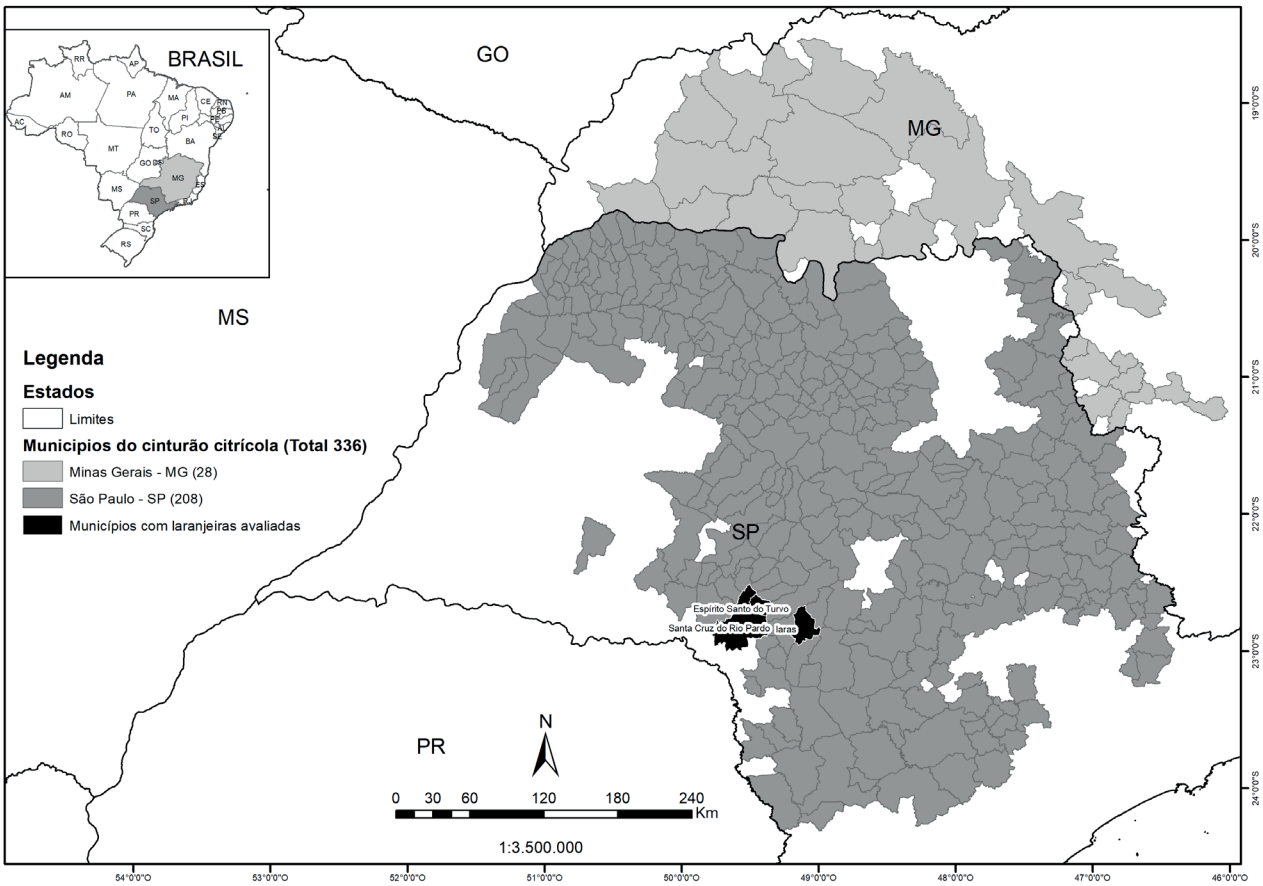

Figura 4. Mapa com a localização dos municípios (Espírito Santo do Turvo, Iaras e Santa Cruz do Rio Pardo) com laranjeiras (*Citrus sinensis* L. Osbeck) avaliadas.

Foram avaliadas laranjeiras em oito talhões de pomares comerciais de laranja (Figura 5). Em cada talhão, foram aleatoriamente avaliadas 10 árvores. As 80 árvores avaliadas contemplaram 4 classes de idades, de 3-5, de 6-10, de 11-15 e maior que 15 anos, e 2 variedades (Pera e Valência), ou seja, foram avaliadas 20 árvores por classe de idade e 40 árvores por variedade. O talhão ocupado pela variedade Pera na classe de idade de 11-15 anos era irrigado. Vale destacar que estas duas variedades de *Citrus sinensis* foram selecionadas por representarem aproximadamente 60% das laranjeiras do cinturão citrícola.

Nas 80 árvores avaliadas, foram medidas as seguintes variáveis biométricas: altura total, em metros; diâmetro da copa na linha de plantio e diâmetro da copa perpendicular à linha de plantio, em

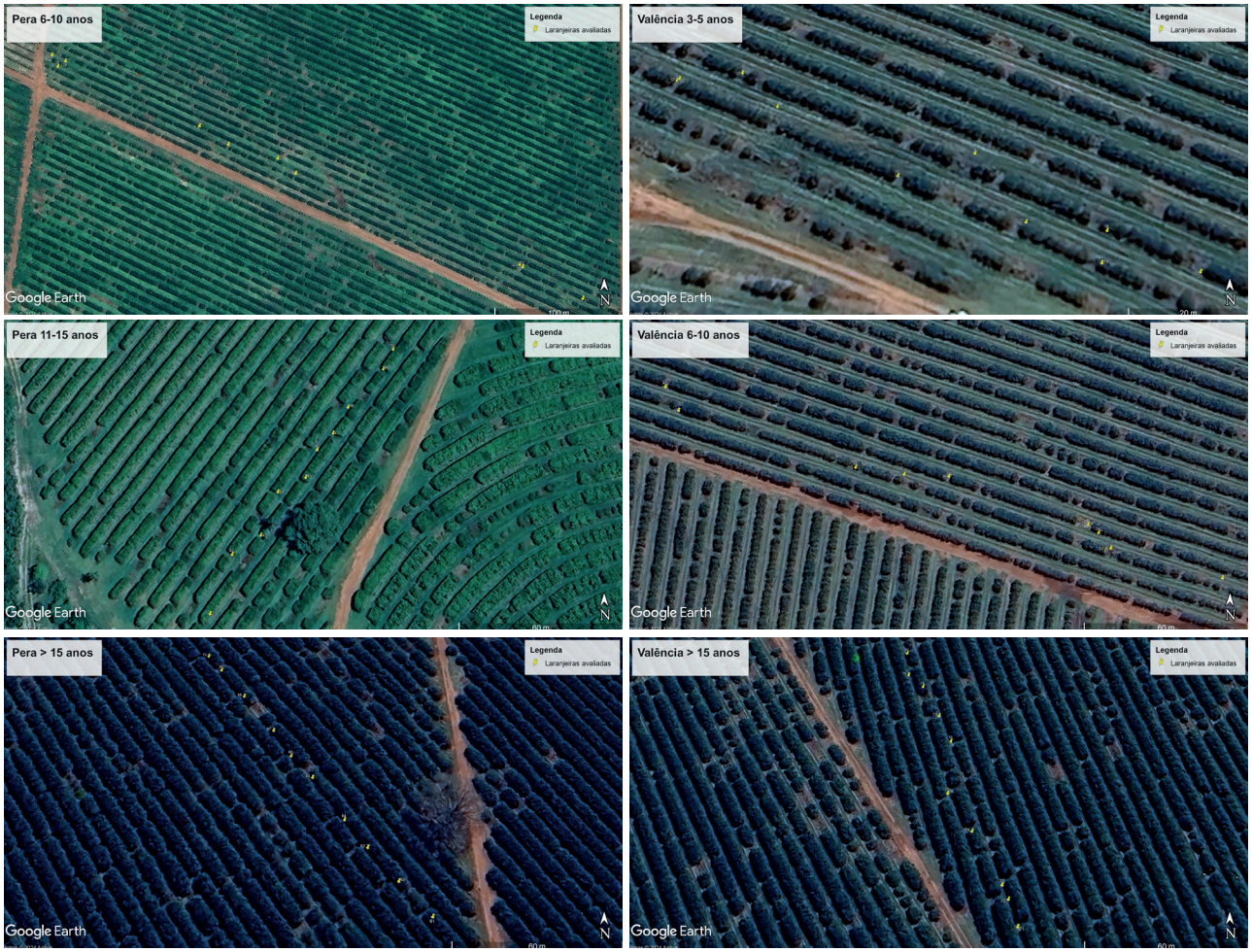

Figura 5. Imagens de satélite com a localização de 60 laranjeiras avaliadas em 6 talhões comerciais com diferentes variedades e idades.

metros; diâmetro do tronco a 0,3 m de altura; diâmetro dos galhos primários e diâmetro dos galhos secundários, em centímetros. A partir das medidas do diâmetro do tronco, dos diâmetros dos galhos primários e dos diâmetros dos galhos secundários, calculamos a área basal (AB), em cm², dessas três variáveis avaliadas por meio da Equação I:

$$AB = \pi r^2 \qquad \text{(I)}$$

A área basal dos galhos primários (ABGP) e a área basal dos galhos secundários (ABGS) é a soma da área basal de todos os galhos primários e de todos os galhos secundários, respectivamente.

A partir da altura total (AT) e do diâmetro médio da copa (DC = ((DC na linha de plantio + DC perpendicular a linha de plantio)/2), calculamos o volume de copa (VC), em m³, por meio da Equação II:

$$VC = \frac{2}{3}\pi r^2 AT \qquad \text{(II)}$$

Cada uma das 80 árvores foi avaliada por método direto, cortada com motosserra e as raízes foram retiradas manualmente com o auxílio de uma tália (Figura 6).

Figura 6. Método de avaliação direta para quantificação da biomassa viva acima e abaixo do solo (folhas, galhos, tronco e raízes) das 80 laranjeiras (*C. sinensis*) avaliadas.

Em cada árvore, foram avaliados quatro compartimentos: A) raízes, biomassa entre a base do tronco (rente ao solo) e as raízes com diâmetro maior que 1 cm; B) tronco, biomassa entre a base do tronco e o início dos galhos primários; C) galhos, biomassa entre o início dos galhos primários e as folhas; e D) folhas. Esses compartimentos foram separados e pesados em campo (peso fresco). Em seguida, foram coletadas amostras frescas de 0,3 a 1 kg de raízes, tronco, galhos e folhas de cada árvore. Em laboratório, as amostras frescas foram secas em estufa de circulação de ar forçado a 70 °C até peso constante. Das 80 (oitenta) laranjeiras avaliadas, para a determinação do conteúdo de C (% de C por grama de amostra) aleatoriamente dentro de cada estrato (classe de idade e variedade), foram avaliadas as amostras de duas laranjeiras (Nogueira Junior et al., 2023). Essas amostras foram moídas em moedores tipo Willey e passadas em peneiras. Para determinar o conteúdo de C, cada amostra foi analisada pelo método de combustão a seco em analisador elementar de carbono, hidrogênio e nitrogênio (CHN) da marca LECO, modelo C-144.

Para o cálculo do conteúdo de C de cada árvore (CCA), foi aplicada uma média ponderada da biomassa por compartimento de cada planta, conforme a Equação III:

$$CCA = \frac{(BF*CC)+(BG*CG)+(BT*CT)+(BR*CR)}{BA} \qquad \text{(III)}$$

Na qual: B = biomassa (kg); C = conteúdo de C (%); F = folhas; G = galhos; T = tronco; R = raízes; A = árvore.

Para chegar ao conteúdo médio de C (CMC) das 16 árvores avaliadas, também foi usada uma média ponderada, dada pela Equação IV:

$$CMC = \frac{soma\ ((BA1 \times CCA1):(BA16 \times CCA16))}{(soma(BA1:BA16)} \qquad \text{(IV)}$$

Os estoques de C por compartimentos, variedades, classes de idade, e combinação de variedades e classes de idade foram obtidos multiplicando-se a biomassa seca (kg) pelo conteúdo de C (%). Os dados dos conteúdos (%) e estoques de C (kg) foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk, análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey (P > 0,95), para comparação das médias. Para as análises estatísticas e produção dos gráficos, foi utilizado o software R (Wickham, 2022, 2023; Dowle; Srinivasan , 2023; R Core Team, 2022).

Para obter um conhecimento abrangente do conjunto amostral, a Tabela 1 apresenta a estatística descritiva das variáveis das 80 laranjeiras avaliadas. Em geral, as variáveis biométricas, as variáveis de biomassa e as variáveis de C por árvore apresentaram grande variação entre os valores mínimos e máximos. Isso demonstra a heterogeneidade das 80 árvores amostradas, que incluem 2 variedades e 4 classes de idade. A título de exemplo, o volume de copa variou de 4,91 a 25,45 m3, a biomassa da árvore variou de 22,16 a 223,9 kg e o C total por árvore variou de 10,41 a 104,81 kg.

Ao considerar o conteúdo de C das árvores, que variou de 46,18 a 47,97%, e dos compartimentos, que variou de 42,36 a 44,66% para as folhas, de 46,94 a 48,05% para os galhos, de 46,91 a 48,11% para o tronco, e de 46,24 a 49,67% para as raízes, os intervalos entre os valores mínimos e máximos foram menores. Isso demonstra que, dentro da mesma espécie, o conteúdo de C por unidade de matéria seca apresenta baixa variância. Essa observação é corroborada pelo estudo de Quiñones et al. (2013), que apresentou valores médios do conteúdo de C para a árvore toda (frutos, folhas, galhos, tronco e raízes) variando de 42,4 a 43,38% em árvores de idades entre 2 e 14 anos. Por fim, quanto ao conteúdo de C das árvores, um ponto importante a ser destacado é

Tabela 1. Estatística descritiva das variáveis das 80 árvores de *Citrus sinensis* avaliadas.

Variáveis	Mínimo	Mediana	Média	Máximo
Altura total (m)	2,14	3,26	3,52	5,10
Volume de copa (m3)	4,91	12,98	14,00	25,45
Diâmetro do tronco (cm)	7,32	13,69	14,30	23,52
Área basal do tronco (cm2)	42,10	147,14	176,49	434,59
Área basal dos galos primários (cm2)	53,00	192,15	228,50	573,36
Área basal dos galhos secundários (cm2)	61,20	181,85	223,13	526,11
Biomassa das folhas (kg)	2,45	7,38	9,11	20,94
Biomassa dos galhos (kg)	6,89	45,82	51,78	125,99
Biomassa do tronco (kg)	1,34	5,43	7,49	22,28
Biomassa das raízes (kg)	5,13	20,75	26,93	77,10
Biomassa da árvore (kg)	22,16	85,84	95,32	223,90
Conteúdo de carbono das folhas (%)	42,36	43,33	43,46	44,66
Conteúdo de carbono dos galhos(%)	46,94	47,38	47,40	48,05
Conteúdo de carbono do tronco (%)	46,91	47,62	47,58	48,11
Conteúdo de carbono das raízes (%)	46,24	47,18	47,36	49,67
Conteúdo de carbono da árvore (%)	46,18	46,90	46,90	47,97
Estoque de carbono das folhas (kg)	1,04	3,23	3,96	9,08
Estoque de carbono dos galhos (kg)	3,26	21,70	24,52	59,89
Estoque de carbono do tronco (kg)	0,64	2,60	3,57	10,62
Estoque de carbono das raízes (kg)	2,40	9,83	12,79	37,44
Estoque de carbono da árvore (kg)	10,41	40,35	44,85	104,81

que, de acordo com a Equação IV descrita na seção Materiais e métodos, o conteúdo médio de C nas laranjeiras foi de 47%.

Em relação ao conteúdo e estoque de C, os resultados das análises estatísticas (teste de normalidade de Shapiro-Wilk e análise de variância – ANOVA –, dados não apresentados) indicam normalidade e independência dos dados. Isso permitiu comparar o conteúdo e o estoque de C por compartimentos, variedades, classes de idade e combinações de variedades e classes de idade (Figura 7). O tronco (47,6%), os galhos (47,4%) e as raízes (47,4%) são os compartimentos da biomassa das laranjeiras com o maior conteúdo de C, quando comparados estatisticamente com as folhas (43,9%) (Figura 7 I). Quanto ao estoque de C, a média foi de 44,85 kg. Os galhos são o maior compartimento, com média de 24,52 kg, representando 55% do estoque de C das árvores, seguidos pelas raízes, com média de 12,79 kg, representando 29% do estoque de C das árvores. O material lenhoso (galhos, tronco e raízes) estoca em média 92% do C das árvores (Tabela 1).

O fato de o material lenhoso apresentar maior conteúdo de C, bem como fixar a maior parte do C, deve ser considerado no manejo dos resíduos dos pomares, especialmente quando da renovação, erradicação de plantas doentes e atacadas por pragas, e quando da substituição por outras culturas agrícolas. Sugerimos a disposição desse material lenhoso em áreas fora dos pomares, como as áreas de preservação permanente e reserva legal que estejam em processo de restauração, pois essa galharia, troncos e raízes podem funcionar como abrigos naturais da fauna e favorecer a restauração (Reis et al., 2014). Sugerimos também que esse material seja destinado à geração de energia térmica, reduzindo as emissões de CO2 para a atmosfera em comparação com a queima do material em campo, dado o alto poder calorífico do material lenhoso (López-Cortés et al., 2022).

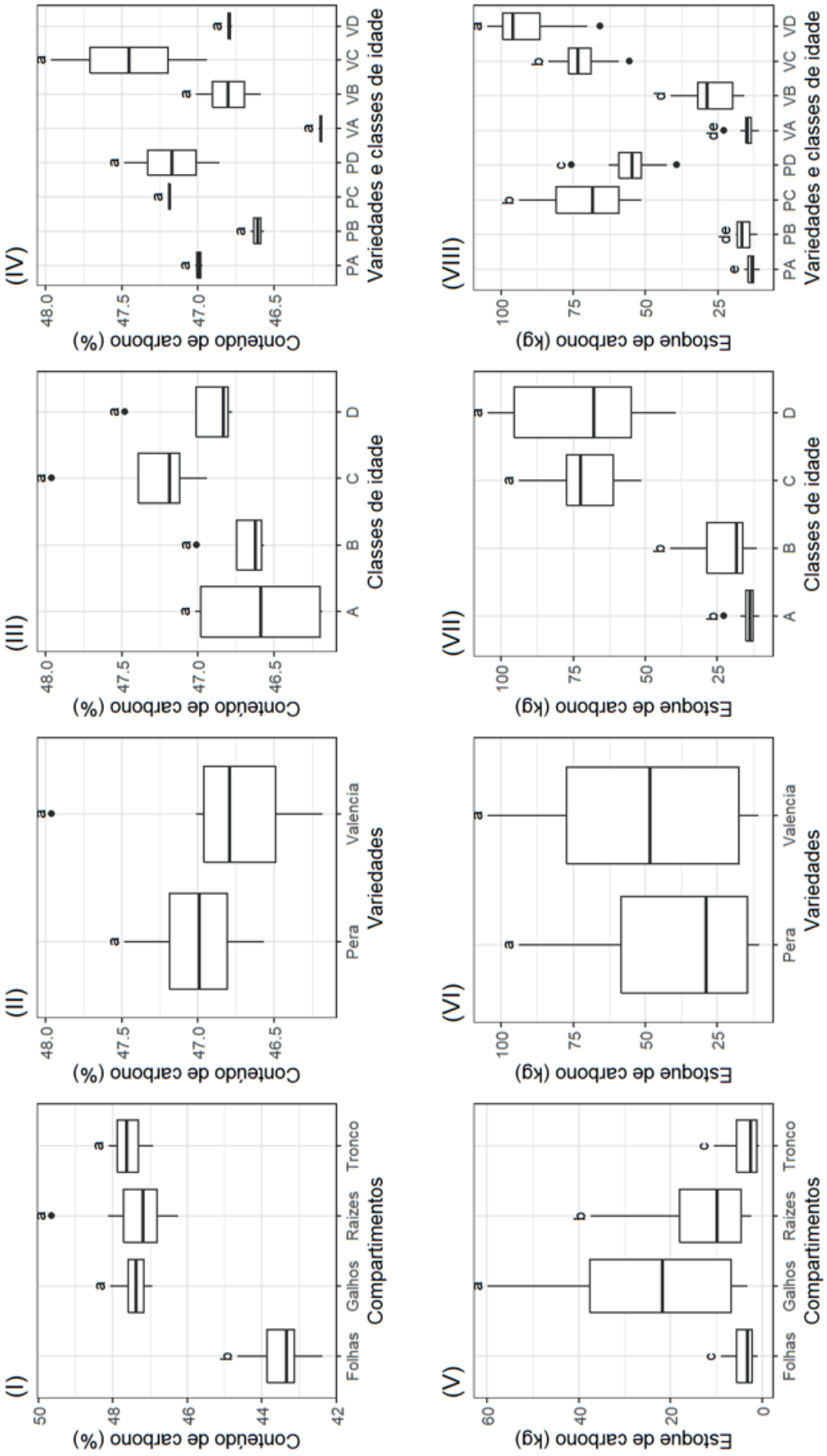

Figura 7. Conteúdo (%) e estoque de carbono (kg) por compartimentos (I e V), variedades (II e VI), classes de idade (III e VII), e combinação variedades e classes de idade (IV e VIII) das 80 laranjeiras avaliadas pelo método direto. P = Pera; V = Valência; A = 3-5; B = 6-10; C = 11-15; D = > 15 anos. Gráficos com barras seguidas da mesma letra não apresentam diferenças significativas nos níveis médios do conteúdo e estoque de C no nível de confiança de 95% pelo teste de Tukey. Os *boxplots* representam os valores mínimos, medianos e máximos do conjunto amostral.

Não foram encontradas diferenças estatísticas nos seguintes casos: conteúdo e estoque de C entre as variedades Pera e Valência (Figuras 7 II e VI); conteúdo de C entre as classes de idade de 3-5, 6-10, 11-15 e > 15 anos (Figura 7 III); e conteúdo de C na combinação das variedades e classes de idade (Figura 7 IV).

Comparando as classes de idade, foram encontrados maiores estoques de C nas árvores acima de 10 anos (Figura 7 VI), o que é corroborado pelo estudo de Quiñones et al. (2013). Quanto à combinação das variedades e classes de idade (Figura 7 VIII), percebemos a influência das classes de idade na diferença entre as médias de estoque de C, visto as composições da variedade Pera e Valência com as classes de idade acima de 10 anos apresentarem as maiores médias.

Desenvolvimento de equações alométricas para estimativas de biomassa viva acima e abaixo do solo

Para o desenvolvimento das equações alométricas, as variáveis dependentes foram biomassa de laranjeira (BL), biomassa foliar (BF), biomassa de galhos (BG), biomassa de tronco (BT) e biomassa de raízes (BR), em quilogramas. As variáveis independentes foram altura total (AT), volume da copa (VC), diâmetro do tronco (DT), área basal do tronco (ABT), área basal dos galhos primários (ABGP) e área basal dos ramos secundários (ABGS). Os dados das variáveis dependentes e independentes das 80 árvores avaliadas foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Os dados das variáveis dependentes (BL, BF, BG, BT e BR) foram submetidos a análises de regressão múltipla com seleção stepwise backward, para calcular as contribuições relativas das variáveis independentes (AT, VC, DT, ABT, ABPB e ABGS). A análise de regressão foi feita em duas etapas. Na primeira etapa, as variáveis dependentes foram relacionadas a todas as variáveis independentes. Na segunda etapa, os modelos resultantes foram simplificados pelo programa, que removeu todas as variáveis com valor de P maior que 0,05 em cada etapa. Isto permitiu identificar as variáveis independentes que melhor explicaram as variáveis dependentes. Foram feitas análises de correlação de Pearson entre a biomassa medida e as variáveis independentes selecionadas nas análises de regressão. Análises de correlação de Pearson também foram feitas para biomassa medida e biomassa estimada pelas equações alométricas. O software R (Wickham, 2022, 2023; Dowle; Srinivasan, 2023; R Core Team, 2022) foi utilizado para análises estatísticas e geração de gráficos. As equações alométricas foram elaboradas em conjunto com José Carlos Barbosa, professor titular vinculado voluntariamente ao Departamento de Ciências Exatas da FCAV/Unesp.

Os dados das variáveis dependentes e independentes apresentaram distribuição normal (dados não apresentados) e ausência de *outliers* (Figura 8), o que demonstra a qualidade do conjunto amostral para determinação dos modelos das equações alométricas por meio de regressão linear *stepwise backward*. É importante destacar algumas informações sobre as variáveis independentes e dependentes do conjunto amostral (Tabela 1 e Figura 8). A amplitude entre os valores mínimo e máximo evidencia a alta variabilidade dos dados para todas as variáveis analisadas. Outra informação refere-se à mediana de todas as variáveis analisadas, o que destaca a concentração de dados abaixo da média. Isso reforça a ideia de que a média das variáveis incluídas no conjunto amostral deve ser utilizada com cautela na comparação com dados de outros estudos.

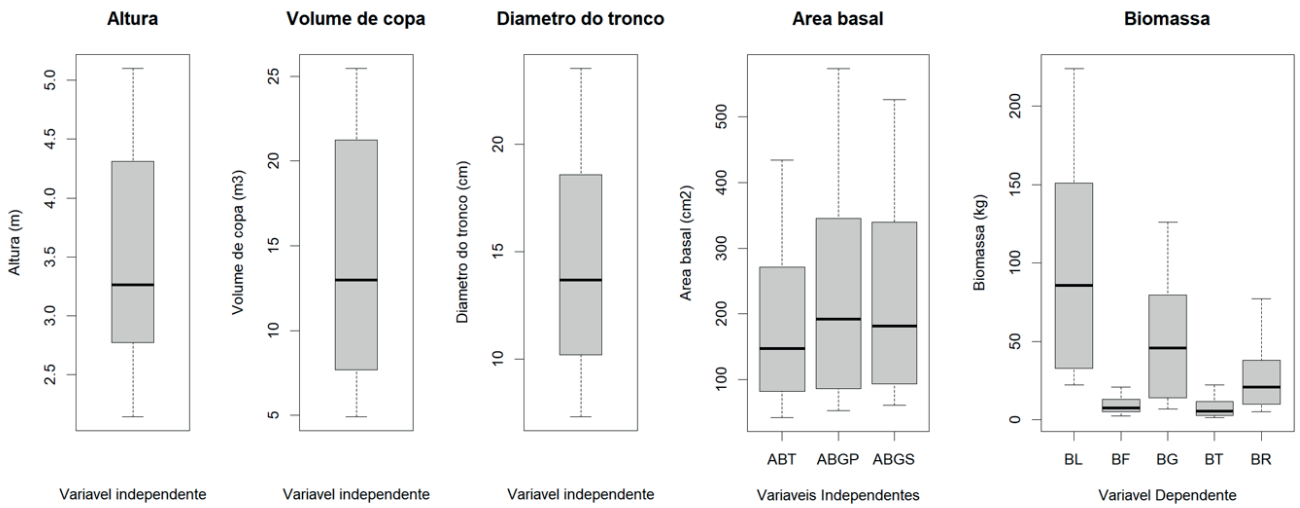

Figura 8. *Boxplots* das variáveis independentes e dependentes analisadas para as 80 laranjeiras (*C. sinensis*) avaliadas. ABT é a área basal do tronco; ABGP é a área basal dos galhos primários; ABGS é a área basal dos galhos secundários; BL é a biomassa da laranjeira; BF é a biomassa foliar; BG é a biomassa dos galhos; BT é a biomassa do tronco; BR é a biomassa radicular. Os *boxplots* representam os valores mínimos, medianos e máximos do conjunto amostral.

A regressão linear *stepwise backward* selecionou as variáveis independentes que melhor explicavam a biomassa das árvores, o que permitiu o estabelecimento de equações alométricas para estimar a biomassa da laranjeira (Tabela 2).

Tabela 2. Variáveis dependentes, em quilogramas (kg), modelos de equações alométricas e resultados (r^2, r^2 ajustado e P) de análises de regressão múltipla para estimativa de biomassa de laranjeiras (*C. sinensis*).

Variáveis dependentes (kg)	Modelos de equações alométricas	r^2	r^2 aju.	P
Biomassa da laranjeira (BL)	BL = - 82,454 + 36,801 AT - 0,265 ABT + 0,425 ABGS	0.918	0.915	<0.001
Biomassa foliar (BF)	BF = - 3,881 + 3,224 AT - 0,039 ABT + 0,038 ABGS	0.740	0.730	<0.001
Biomassa dos galhos (BG)	BG = - 45,328 + 15,892 AT + 0,184 ABGS	0.951	0.950	<0.001
Biomassa do tronco (BT)	BT = - 2,635 + 3,833 AT - 1,026 DT + 0,036 ABT + 0,021 ABGS	0.850	0.842	<0.001
Biomassa radicular (BR)	BR = - 50,438 + 11,471 AT + 4,698 DT - 0,389 ABT + 0,172 ABGS	0.769	0.757	<0.001

AT é a altura total; DT é o diâmetro do tronco; ABT é a área basal do tronco; ABGS é a área basal dos galhos secundários

Estimativa da biomassa e do carbono das laranjeiras produtivas

Para a estimativa da biomassa e do C das laranjeiras no cinturão citrícola, foram medidas as variáveis biométricas altura, diâmetro do tronco e área basal do tronco e dos galhos secundários de 1.321 laranjeiras distribuídas no cinturão citrícola (Figura 9). Esta amostra representa 162.013 milhões de laranjeiras que foram plantadas no momento de formação do talhão e têm idade igual ou superior a 3 anos – ou seja, desconsidera as replantas posteriores à formação do talhão –, e ocupam área de 337,091 mil hectares (Fundecitrus et al., 2023). A equação alométrica selecionada para estimar a biomassa das laranjeiras (Tabela 2) foi aplicada nesta amostra, e resultou nas informações sobre a biomassa (Figura 9).

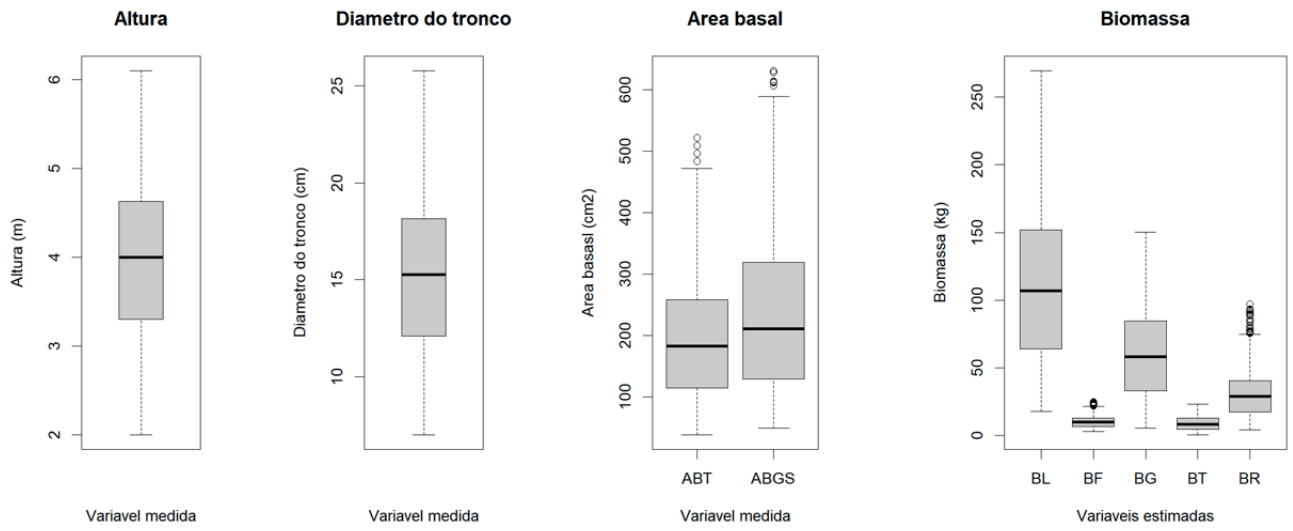

Figura 9. *Boxplots* das variáveis medidas e das variáveis estimadas das 1.321 laranjeiras (*C. sinensis*) representativas do cinturão citrícola. ABT é a área basal do tronco; ABGS é a área basal dos galhos secundários; BL é a biomassa da laranjeira; BF é a biomassa foliar; BG é a biomassa dos galhos; BT é a biomassa do tronco; BR é a biomassa radicular. Os *boxplots* representam os valores mínimos, medianos e máximos do conjunto amostral.

Por fim, para estimar o estoque de C, foi multiplicado o teor de C (%) por estrato (variedade e classe de idade) (Tabela 3) pela biomassa de cada laranjeira desta amostra, concatenando com o inventário de laranjeiras do cinturão citrícola que apresenta o número de laranjeiras por região, variedade e classe de idade (Fundecitrus et al., 2023).

Tabela 3. Conteúdo de carbono (%) por variedade e idade utilizada na estimativa do estoque de carbono da biomassa nos pomares de laranja.

Variedade	Idade (anos)	Teor de carbono (%)
Pera Rio	3 a 5	46,97
Pera Rio	6 a 10	46,69
Pera Rio	11 a 15	47,22
Pera Rio	> 15	47,14
Valência	3 a 5	46,38
Valência	6 a 10	46,87
Valência	11 a 15	47,41
Valência	> 15	46,81
Demais variedades	3 a 5	46,66
Demais variedades	6 a 10	46,80
Demais variedades	11 a 15	47,32
Demais variedades	> 15	46,93

Assim, para estimar o estoque de C, foi multiplicado o estoque da biomassa pelo teor médio de C do estrato composto por “variedade e idade” para as variedades Pera Rio e Valência e o teor médio da idade para as demais variedades, conforme a Tabela 3.

O cinturão citrícola apresentou um estoque de C na biomassa viva acima e abaixo do solo de 8,44 milhões de toneladas, considerando 162,013 milhões de laranjeiras em 337,091 mil hectares de pomares (Figura 10). A variedade Pera estocou aproximadamente 2,759 milhões de toneladas

(32,68%); a variedade Valência, 2,931 milhões de toneladas (34,72%); e as demais variedades de laranjeiras responderam por 2,751 milhões de toneladas (32,59%). As laranjeiras com mais de 10 anos estocaram cerca de 6,429 milhões de toneladas, 76,17% do C total estocado no cinturão citrícola. Por laranjeira, o estoque médio de C foi de 52,097 kg, e os galhos representaram 55,36% do estoque de C, as raízes, 27,87%, as folhas, 8,57% e o tronco, 8,2%. Ao se considerar um pomar com 480 laranjeiras por hectare (Fundecitrus et al., 2023), densidade calculada sem considerar as replantas produtivas dos pomares, a média de estoque de C foi de 25,039 toneladas por hectare.

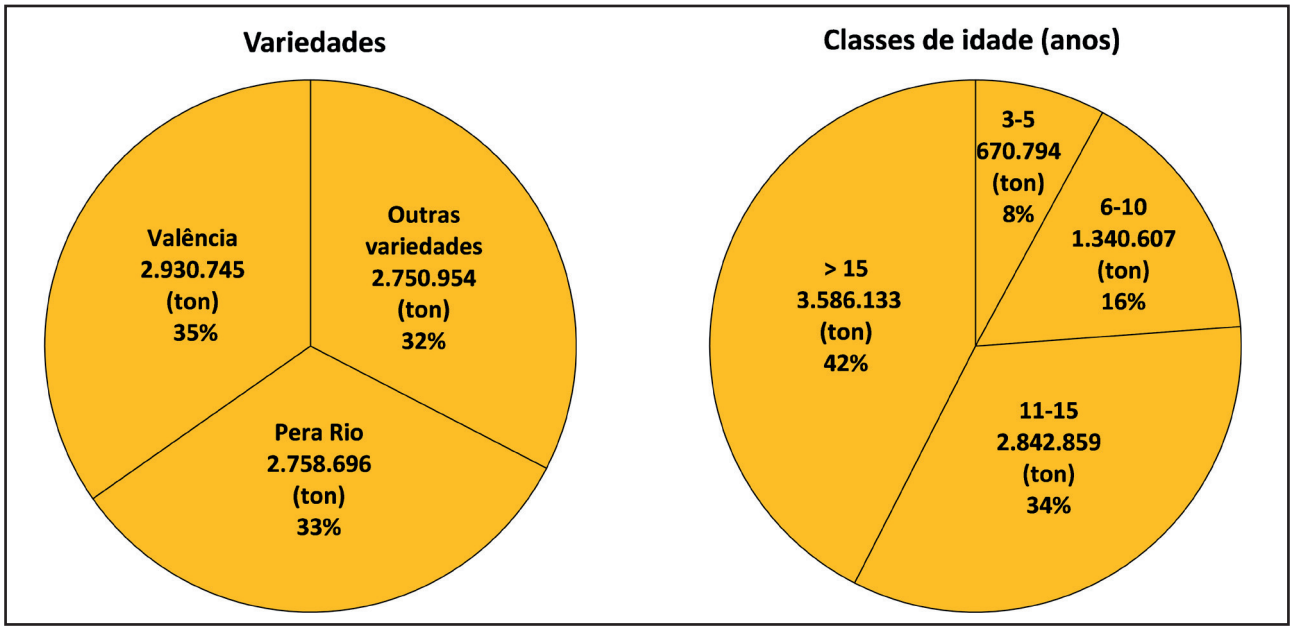

Figura 10. Estoque de carbono (toneladas) de diferentes variedades (Valência, Pera Rio e outras variedades) e classes de idade (3-5, 6-10, 11-15 e acima de 15 anos) das 162 milhões de laranjeiras a partir de 3 anos do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste de Minas Gerais.

(É importante lembrar que o valor de referência para o conteúdo de C na biomassa lenhosa sugerido pelo “Guia de Boas Práticas para Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas” do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2003) é de 50%. Isso representa um valor 3 pontos percentuais maior do que o valor mensurado em nosso estudo (Nogueira Junior et al., 2023). Considerando os dados de conteúdo de C de nosso estudo e de outros estudos em laranjeiras (Iglesias et al., 2013; Quiñones et al., 2013; López-Cortés et al., 2022; Vieira et al., 2023), observamos que o valor de referência de 50% sugerido pelo IPCC (2003) pode superestimar os estoques e o sequestro de C em pomares citrícolas. Portanto, tanto no inventário nacional de emissões de gases de efeito estufa quanto nos inventários de propriedades citrícolas que não utilizam amostragem destrutiva, sugerimos a utilização de valores de conteúdo de C da literatura científica, a fim de evitar a superestimação dos estoques de C na biomassa de laranjeiras.

Eestimativa dos estoques de carbono das áreas destinadas à preservação ambiental

Nesse terceiro passo, determinamos os estoques de C, em toneladas por hectare, dos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal que ocupam os 159.629 hectares de áreas destinadas à preservação ambiental declaradas no Sicar (2023), utilizando fontes secundárias de informações, conforme descrito a seguir.

Definição das classes de uso e cobertura do solo, e dos tipos de vegetação

Como as informações obtidas no Sicar (2023) sobre as áreas de reserva legal (RL), áreas de preservação permanente (APP) e áreas com vegetação nativa excedente (VNE) são declaratórias, foi necessário conhecer o uso e cobertura do solo dessas áreas de preservação. Para tanto, foi utilizado o mapa de uso e cobertura do solo da Coleção 7 disponibilizado pelo Projeto MapBiomas para o ano de 2021 (Projeto MapBiomas, 2023). Os resultados dessa análise foram agregados na Figura 11; 53% das áreas destinadas à preservação ambiental estão localizadas no domínio da Mata Atlântica e 47%, no Cerrado. As áreas de RL representam 54% das áreas destinadas à preservação ambiental, enquanto as APPs e as áreas de VNE representam 30% e 16%, respectivamente. Nessas áreas, a principal cobertura foi a formação florestal (55%), seguida por mosaico de usos (24%), campo alagado e área pantanosa (12%), formação savânica (4%), pastagem (3%) e demais usos (2%). Considerando apenas as áreas com vegetação natural (formação florestal, formação savânica, formação campestre, campo alagado e área pantanosa), foram mapeados 112.612 hectares, ou seja, 71% das áreas destinadas à preservação ambiental apresentam cobertura de vegetação natural.

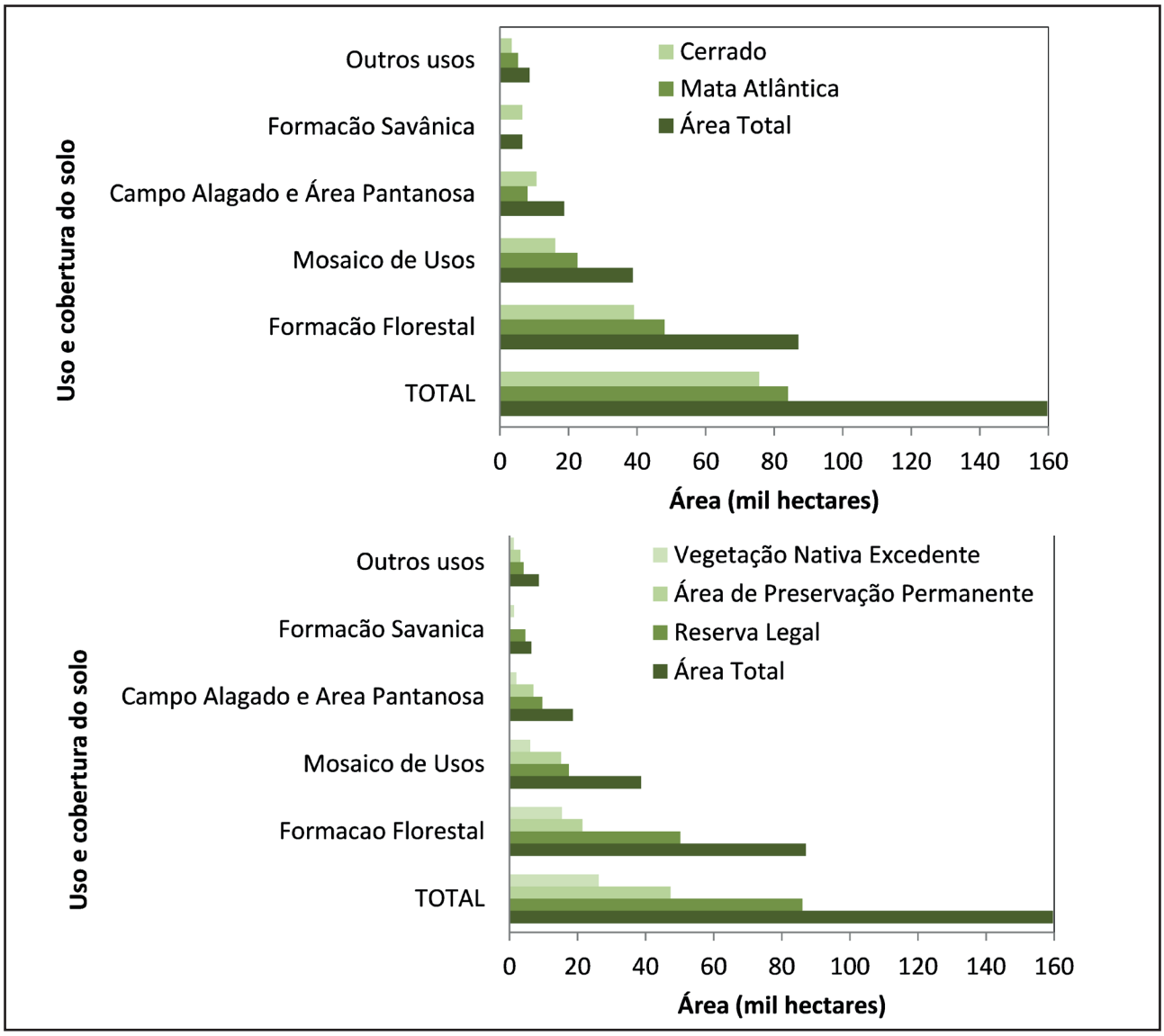

Figura 11. Área ocupada (hectares) pelas diferentes classes de uso e cobertura do solo das áreas destinadas à preservação ambiental nos biomas Mata Atlântica e Cerrado e nas diferentes categorias de áreas de preservação ambiental (reserva legal, áreas de preservação permanente e áreas de vegetação nativa excedente).

Já os tipos de vegetação das formações florestais, formações savânicas, formações campestres, campos alagados e áreas pantanosas foram determinados por meio dos dados do mapa de vegetação brasileira do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), que traz informações sobre qual bioma e qual tipo de vegetação ocupa essas áreas de preservação dentro das propriedades citrícolas, se de Cerrado ou de Mata Atlântica, se Floresta (Estacional Semidecidual, Estacional Decidual, Ombrófila Densa, Ombrófila Aberta ou Ombrófila Mista), Savana (Florestada, Arborizada, Parque ou Gramíneo-Lenhosa) ou Formação Campestre.

Definição dos estoques de carbono dos diferentes tipos de uso e cobertura do solo

Depois de analisar os dados obtidos do mapa de vegetação brasileira do IBGE (2023) e do mapa de uso e cobertura do solo da Coleção 7 do Projeto MapBiomas (2023), selecionamos o principal tipo de vegetação para cada classe de uso e cobertura do solo do Projeto MapBiomas (2023), e buscamos no Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa (Brasil, 2020) os valores de referência de estoque de C (toneladas por hectare) para os biomas Mata Atlântica e Cerrado (Tabela 4).

Tabela 4. Valores de referência de estoque de carbono (t ha-1 de C) para diferentes usos e coberturas do solo para os biomas Mata Atlântica e Cerrado.

Uso e cobertura do solo – Classificação IBGE (sigla)	t ha^{-1}de C
Mata Atlântica	
Campo Alagado e Área Pantanosa – Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre (Pa)	105,38
Formação Florestal – Floresta Estacional Semidecidual aluvial (Fa)	75,89
Formação Savânica – Savana Florestada (Sd)	52,42
Silvicultura – Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (exemplo: pinus, eucalipto, araucária) (R)	44,20
Café – Áreas cultivadas com a cultura do café (AMp – c)	21,00
Outras Lavouras Perenes – Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de ciclo vegetativo longo (AMp)	21,00
Formação Campestre – Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg)	18,49
Pastagem – Áreas de pastagem, predominantemente plantadas, vinculadas a atividade agropecuária (AP, PE, OS)	7,57
Cana – Áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar (AMc – c)	5,00
Mosaico de Usos – Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura (AP, PE, PS, ATp, ATc, ATpc)	5,00
Soja - Áreas cultivadas com a cultura da soja (AMc – s)	5,00
Outras Lavouras Temporárias – Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração (AMc)	5,00
Cerrado	
Formação Florestal – Savana Florestada (Sd)	68,99
Silvicultura – Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (exemplo: pinus, eucalipto, araucária) (R)	44,20
Formação Savânica – Savana Arborizada (SA)	39,92
Campo Alagado e Área Pantanosa – Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre (Pa)	36,24
Café – Áreas cultivadas com a cultura do café (AMp – c)	21,00
Outras Lavouras Perenes – Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de ciclo vegetativo longo (AMp)	21,00
Formação Campestre – Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg)	18,49
Pastagem – Áreas de pastagem, predominantemente plantadas, vinculadas a atividade agropecuária (AP, PE, OS)	7,57
Cana – Áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar (AMc – c)	5,00
Mosaico de Usos – Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura (AP, PE, PS, ATp, ATc, ATpc)	5,00
Soja - Áreas cultivadas com a cultura da soja (AMc – s)	5,00
Outras Lavouras Temporárias – Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração (AMc)	5,00

Fonte: Brasil (2020).

Estimativas dos estoques de carbono

Para a biomassa das áreas destinadas à preservação ambiental, o estoque de C total foi estimado em 7.839.559 toneladas. Desse total de C estocado, 57% estão sob o domínio da Mata Atlântica e 43% sob o domínio do Cerrado. Com 86.081 hectares, as áreas de reserva legal estocaram 4.607.432 toneladas de C, 54% de todo o C estocado na biomassa das áreas destinadas à preservação ambiental. Outro destaque é o estoque de C nas áreas de vegetação nativa excedente, parcela de área que está fora da obrigatoriedade dada pelo Código Florestal (Brasil, 2011). Nessa área, foram estocadas, só na biomassa, 1.357.994 toneladas de C. Destacamos isso devido ao fato que esse C é adicional, e representa um grande ativo ambiental das propriedades citrícolas que o possuem.

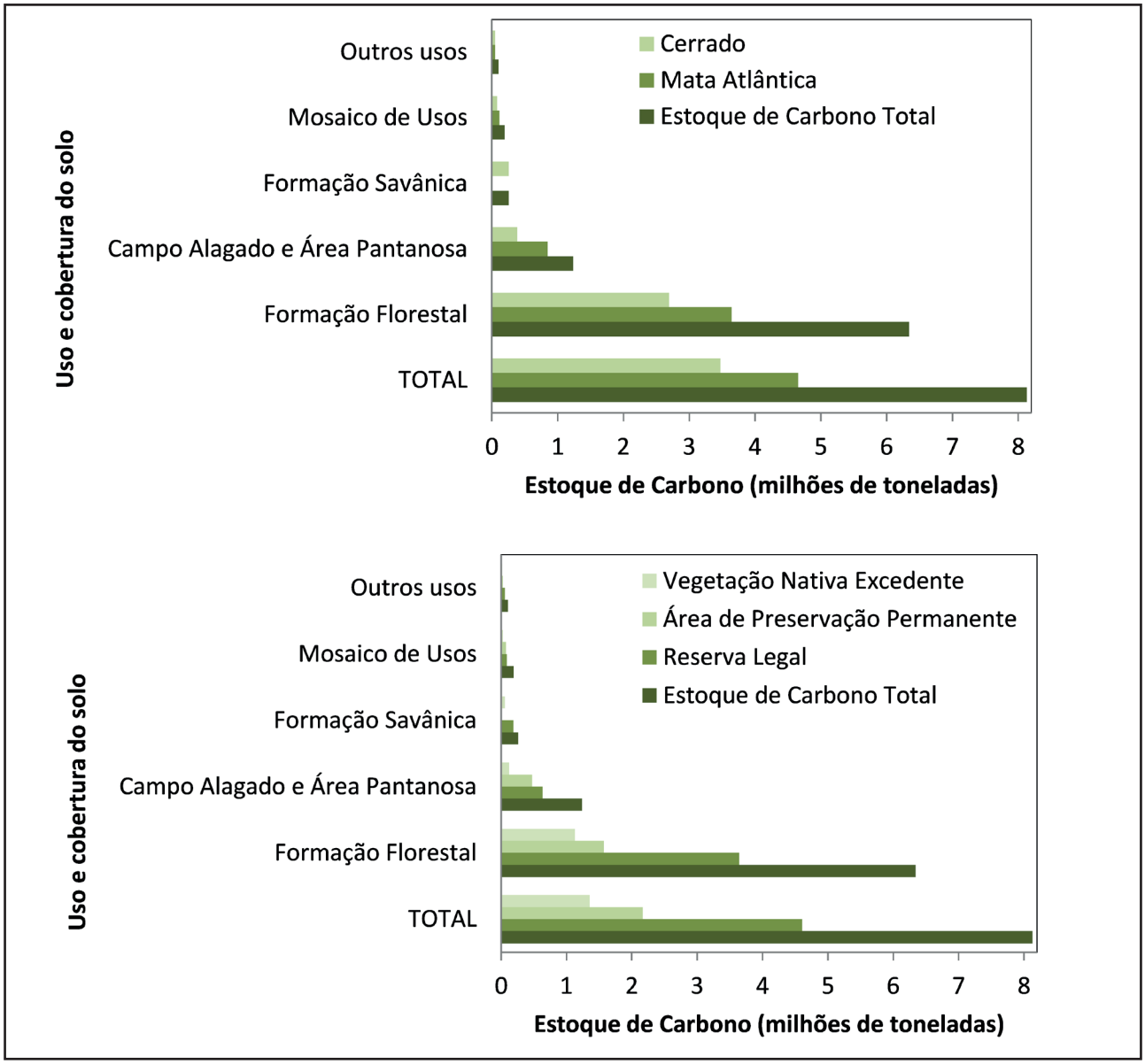

Figura 12. Estoque de carbono (toneladas) na biomassa nas diferentes classes de uso e cobertura do solo das áreas destinadas à preservação ambiental nos biomas Mata Atlântica e Cerrado e nas diferentes categorias de áreas de preservação ambiental (reserva legal, áreas de preservação permanente e áreas de vegetação nativa excedente).

Estimativa dos estoques de carbono do solo na camada de 0-30 cm

Para estimar o estoque de C no solo das áreas dos pomares e das áreas de preservação, foi utilizado o mapa de C orgânico do solo na camada de 0-30 cm (Vasques et al., 2021) (Figura 12). Segundo os dados obtidos (Figura 13), o cinturão citrícola estocou 19,761 milhões de toneladas de C, 13,28 milhões (67%) nas áreas dos pomares e 6,48 milhões (33%) nas áreas destinadas à preservação ambiental.

Como era esperado, em termos de média de estoque de C por hectare (Figura 14), as áreas de preservação ambiental apresentaram maior estoque. Porém, observamos que a diferença é pequena, e chega a uma média de 1,19 tonelada de C por hectare a mais nas áreas de preservação ambiental.

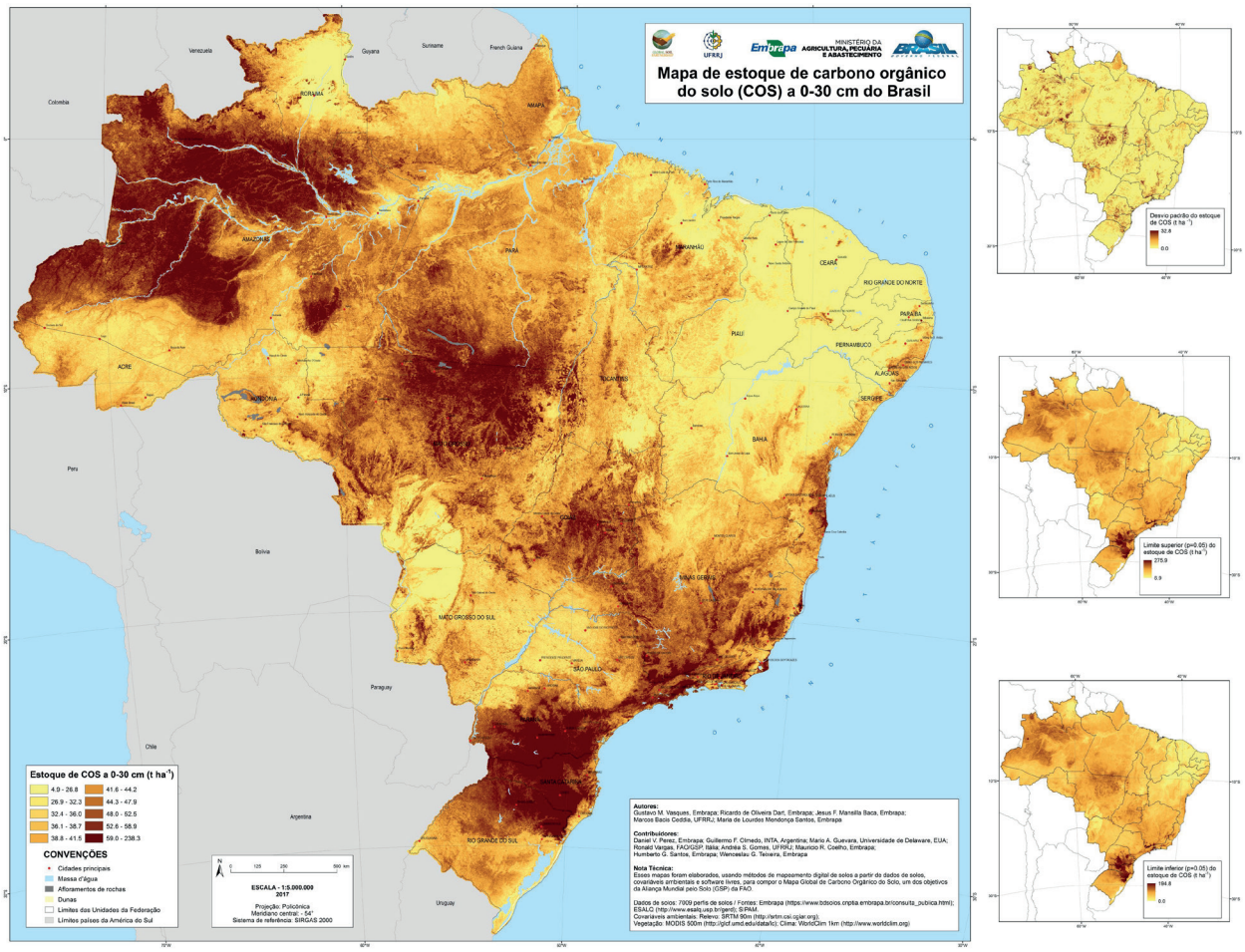

Figura 13. Mapa de carbono orgânico do solo a 0-30 cm do Brasil usado nas estimativas de carbono do solo do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste de Minas Gerais.

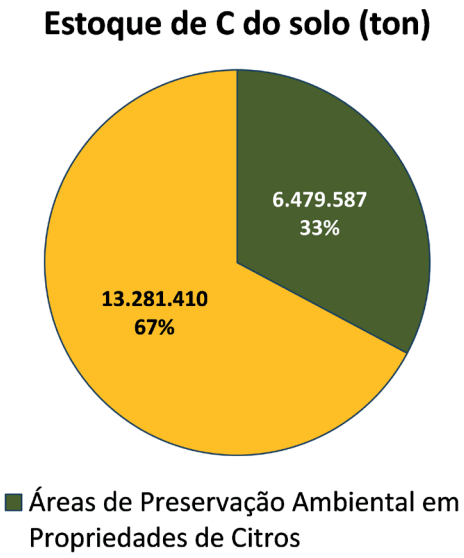

Figura 14. Estimativa do estoque de carbono (C) do solo (toneladas) na camada de 0-30 cm dos pomares de laranja a partir de 3 anos e das áreas destinadas à preservação ambiental.

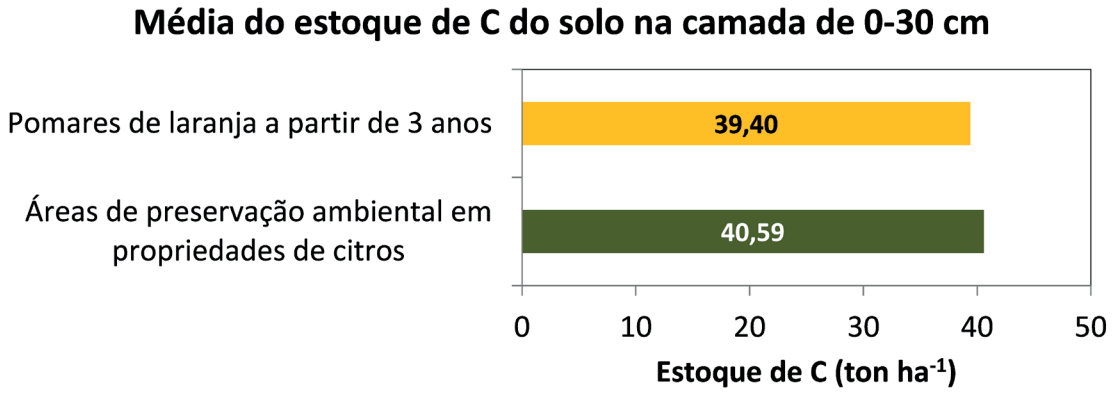

Figura 15. Estimativa do estoque de carbono (C) do solo (toneladas) na camada de 0-30 cm dos pomares de laranja a partir de 3 anos e das áreas destinadas à preservação ambiental.

Como esses dados foram obtidos de fonte secundária e podem estar superestimados ou subestimados, adicionalmente, para efeito de comparação/discussão dos dados obtidos, fizemos uma amostragem do solo em áreas de pomares e de preservação ambiental (floresta) de cinco propriedades citrícolas distribuídas cada uma em uma região (norte, noroeste, centro, sul e sudoeste) do cinturão citrícola (Figura 15).

Nesta amostragem do solo, em cada propriedade, foram coletadas amostras em três pontos nos pomares e áreas de preservação (Figura 15). Para determinar a densidade do solo (g dm-3), em cada ponto foram coletadas três amostras indeformadas em anéis volumétricos nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade. Já para determinar o conteúdo de carbono (g kg-1), em cada ponto foram coletadas 12 amostras simples para compor uma amostra nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade. Para a análise de C, cada amostra foi analisada pelo método de combustão a seco em analisador elementar de C da marca LECO, modelo C-144. Para calcular o estoque de C do solo dessas áreas (pomares e áreas de preservação), o volume de solo (m3) de 1 ha da camada de 0-30 cm foi multiplicado pela média da densidade do solo e pela média

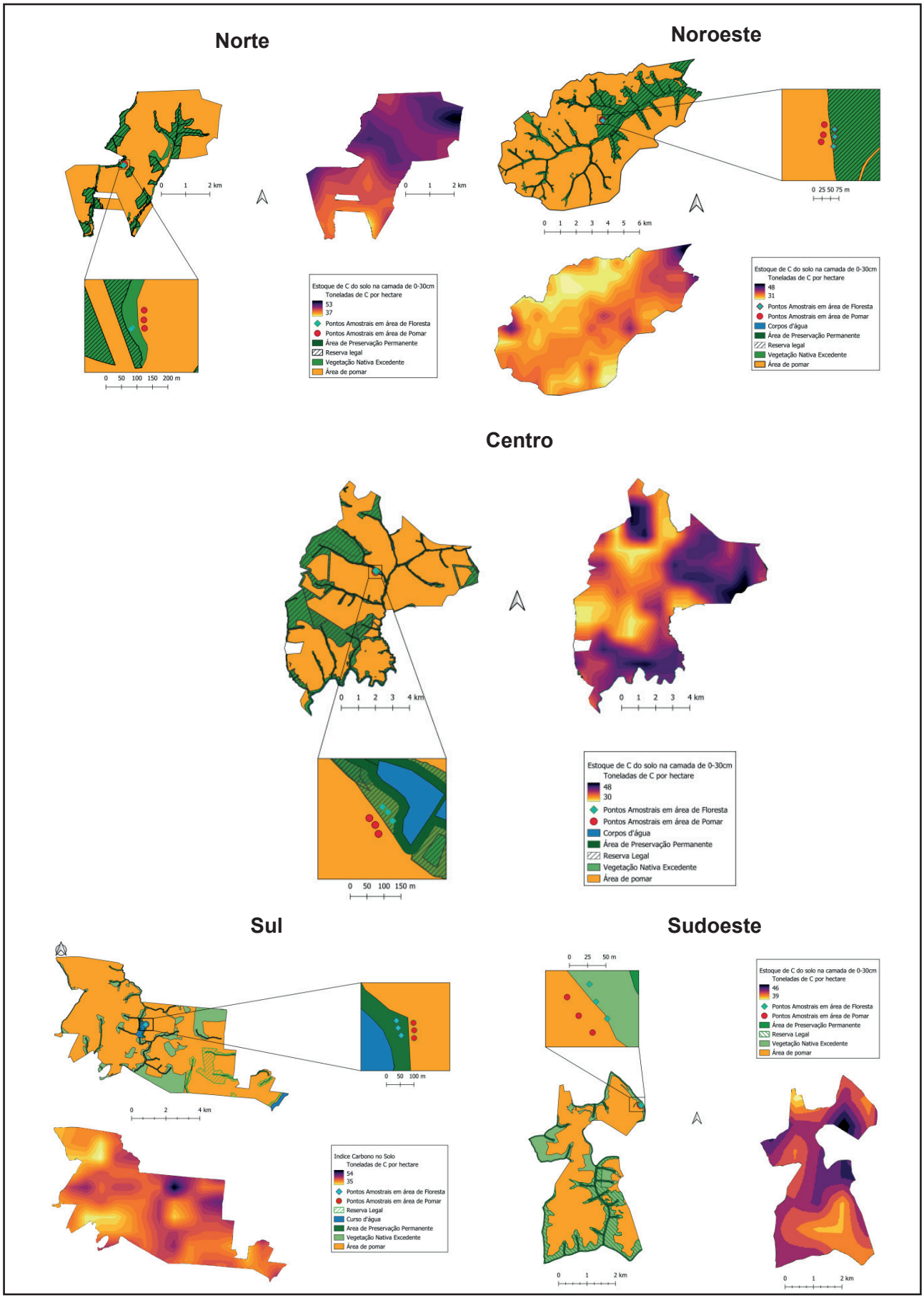

Figura 16. Mapas de cinco propriedades citrícolas distribuídas cada uma nas grandes regiões do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste de Minas Gerais, com a localização dos pontos amostrais de solo nas áreas destinadas à preservação ambiental (floresta) e nas áreas de pomares e mapas com dados secundários (Vasques et al., 2021) da distribuição do estoque de carbono (C) do solo na camada de 0-30 cm (toneladas por hectare de C).

do conteúdo de C das amostras das camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, para obtenção de valores em toneladas por hectare (t ha^{-1}).

Os resultados de estoque de C do solo na camada de 0-30 cm confirmam que as áreas de preservação ambiental (florestas) apresentam média (40,1 t ha^{-1} de C) maior que das áreas de pomares (32,27 t ha^{-1} de C) (Figura 16). A média de estoque de C das áreas de preservação ambiental (Figura 16) foi muito próxima da média de estoque de C estimada usando os dados secundários (Figura 14). Já a média de estoque de C das áreas de pomares (Figura 16) foi bem inferior à média de estoque de C estimada usando os dados secundários (Figura 14). Assim, consideramos que as estimativas de estoque de C do solo servem de referência, porém devem ser usadas com cautela.

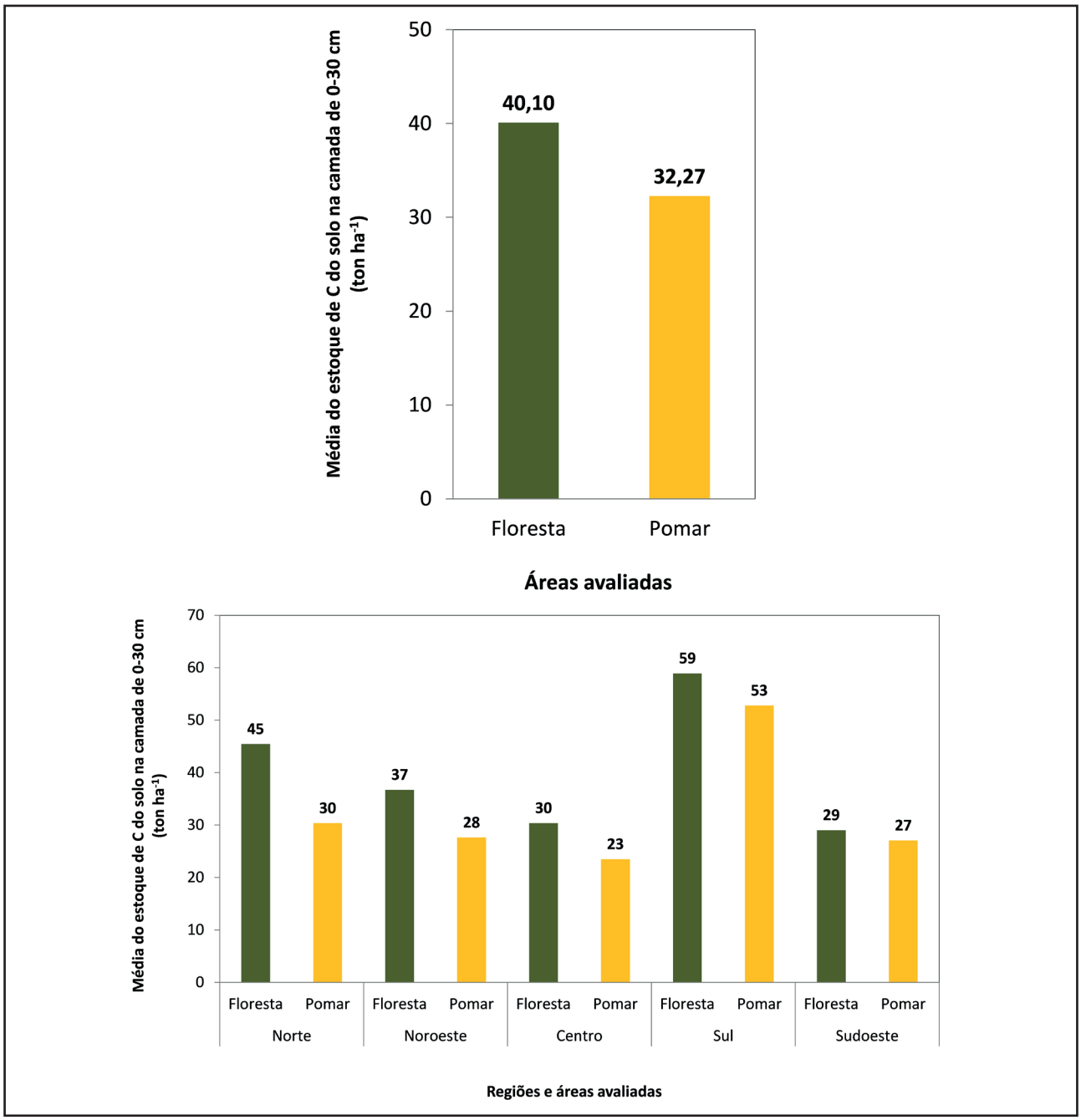

Figura 17. Média dos estoques de C do solo na camada de 0-30 cm (t ha-1) em áreas destinadas à preservação ambiental (Floresta) e nos pomares de laranja a partir de 3 anos de cinco propriedades citrícolas distribuídas nas grandes regiões do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste de Minas Gerais.

Agradecimentos

À Innocent Drinks CO, pelo apoio financeiro do Farmer Innovation Fund a este estudo. Aos proprietários e a todos os funcionários das fazendas de laranja que participaram do estudo, bem como a todos os membros da equipe da empresa FlorAgro, que nos apoiaram no campo e na preparação das amostras da biomassa e do solo. Sem o aporte de recursos financeiros, humanos e materiais não seria possível a realização deste importante estudo para o cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste de Minas Gerais.

Referências

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Quarto inventário nacional de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. **Relatório de referência**: setor uso da terra, mudança do uso da terra e florestas. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial. Acesso em: 6 mar. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm. Acesso em: 29 maio 2023.

DOWLE, M.; SRINIVASAN, A. **Data.table**: Extension of 'data.frame'. R package version 1.14.8, 2023. Disponível em: https://CRAN.R-project.org/package=data.table. Acesso em: 29 maio 2023.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Agricultura e preservação ambiental**: uma análise do Cadastro Ambiental Rural. Campinas, 2020. Disponível em: www.embrapa.br/car. Acesso em: 12 nov. 2020.

FUNDECITRUS; MARKESTRAT; FEA-RP/USP; FCAV/UNESP. **Inventário de árvores do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro**: retrato dos pomares em março de 2023. Araraquara: Fundecitrus, 2023. Disponível em: https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/2023_06_05_Invent%C3%A1rio_e_Estimativa_do_Cinturao_Citricola_2023-2024.pdf. Acesso em: 19 mar. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Vegetação 1:250.000**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/22453-cartas-1-250-000.html?=&t=downloads. Acesso em: 6 mar. 2023.

IGLESIAS, D. J.; QUIÑONES, A.; FONT, A.; MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; FORNER-GINER, M. Á.; LEGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E. Carbon balance of citrus plantations in Eastern Spain. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 171, p. 103–111, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.03.015.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**. Kamiyamaguchi: IGES, 2003.

LÓPEZ-CORTÉS, I.; MARTÍ, B. V.; ESTORNELL, J.; RODRÍGUEZ, J. E. F.; MARTÍ-GAVILÁ, J.; HERNÁNDEZ, D. S. Quantification model of residual biomass in citrus uprooting. **Agronomy**, v. 12, p. 1-10, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy12071648.

NOGUEIRA JUNIOR, L.; RONQUIM, C.; TROMBIN, V.; REINA, R.; DELGADO, F.; PAIM, F. Conteúdo e estoque de carbono em Citrus sinensis (L. Osbeck) do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 8, n. 2, p. 36-42, 2023. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v8i2.93201.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 7 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil**. Disponível em: https://code.earthengine.google.com/?accept_repo=users%2Fmapbiomas%2Fuser-toolkit&scriptPath=users%2Fmapbiomas%2Fuser-toolkit%3Amapbiomas-user-toolkit-lulc.js. Acesso em: 6 mar. 2023.

QUIÑONES, A.; MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, M.; FONT, A.; FORNER-GINER, M. Á.; LEGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E.; IGLESIAS, D. J. Allometric models for estimating carbon fixation in citrus trees. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 5, p. 1355-1366, 2013.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: https://www.R-project.org/. Acesso em: 29 maio 2023.

REIS, A.; BECHARA, F. C.; TRES, D. R.; TRENTIN, B. E. Nucleação: concepção biocêntrica para a restauração ecológica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 509-519, 2014.

SICAR. Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural. **Cadastro Ambiental Rural**. Disponível em: https://www.car.gov.br/publico/municipios/downloads. Acesso em: 6 mar. 2023.

VASQUES, G. de M.; DART, R. de O.; BACA, J. F. M.; CEDDIA, M. B.; MENDONÇA SANTOS, M. de L. **Mapa de estoque de carbono orgânico do solo do Brasil (90 m - Versão 2021)**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2021. Disponível em: http://geoinfo.cnps.embrapa.br/maps/3175. Acesso em: 6 mar. 2023.

VIEIRA, L. C.; NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; RONQUIM, C. C.; PAIM, F. A. de P.; TROMBIN, V. G. Carbono (C), Nitrogênio (N) e relação C/N em raízes, tronco, galhos, folhas e frutos de laranjeiras (*Citrus sinensis* L. Osbeck) no estado de São Paulo. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17., 2023, Campinas. **Anais** [...]. Campinas: Embrapa Territorial, 2023. 11 p. CIIC 2023.

WICKHAM, H. **Ggplot2**: Elegant Graphics for Data Analysis. New York: Springer-Verlag, 2016. Disponível em: https://ggplot2.tidyverse.org. Acesso em: 29 maio 2023.

WICKHAM, H. **Stringr**: Simple, Consistent Wrappers for Common String Operations. R package 2022. Disponível em: https://CRAN.R-project.org/package=stringr. Acesso em: 29 maio 2023.

Embrapa

Territorial

Fundecitrus

CIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE
PARA A CITRICULTURA