

THAYNARA PEREIRA ALBUQUERQUE

**ESTOQUE E INCREMENTO DE CARBONO EM LAVOURAS DE CAFÉ COM
IDADE DE 7 E 16 ANOS EM MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Laércio Antônio Gonçalves
Jacovine

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

A345e
2023
Albuquerque, Thaynara Pereira, 1997-
 Estoque e incremento de carbono em lavouras de café com
idade de 7 e 16 anos em Minas Gerais / Thaynara Pereira
Albuquerque. – Viçosa, MG, 2023.
 1 dissertação eletrônica (52 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Florestal, 2023.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.077>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Créditos de carbono. 2. Resíduos de café. 3. Redução de
gases de efeito estufa. I. Jacovine, Laércio Antônio Gonçalves,
1963-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência
Florestal. III. Título.

GFDC adapt. CDD 22. ed. 634.94521

THAYNARA PEREIRA ALBUQUERQUE

**ESTOQUE E INCREMENTO DE CARBONO EM LAVOURAS DE CAFÉ COM
IDADE DE 7 E 16 ANOS EM MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 01 de dezembro de 2023.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 THAYNARA PEREIRA ALBUQUERQUE
Data: 23/02/2024 13:09:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Thaynara Pereira Albuquerque

Autor

Documento assinado digitalmente
 LAERCIO ANTONIO GONCALVES JACOVINE
Data: 23/02/2024 14:30:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Laércio Antônio Gonçalves Jacovine

Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Espiritualidade e aos meus anjos da guarda pela vida e por todo suporte espiritual durante toda a minha trajetória.

À minha mãe, Marilene, por sempre embarcar nos meus sonhos, me incentivando e sendo o apoio necessário para que eu finalizasse mais essa etapa.

Ao meu pai Júlio Cesar (*in memoriam*) por se fazer presente mesmo não estando mais nesse plano espiritual.

Aos meus avós, Arminda e Ary, pelo apoio e amor incondicional.

Ao professor Laércio Antônio Gonçalves Jacovine, pela orientação, incentivo e compreensão desde a graduação. Seus ensinamentos perpassam a vida profissional e os levarei sempre comigo.

A todos meus amigos e familiares que direta ou indiretamente fizeram parte desta trajetória. Em especial, agradeço a Lauana e Klisman que me auxiliaram de maneira ímpar para a realização desse trabalho.

Agradeço ao GEEA e ao Carbono Zero pela oportunidade e contribuição na construção da pessoa e profissional que sou hoje.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO GERAL

ALBUQUERQUE, Thaynara Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2023. **Estoque e incremento de carbono em lavouras de café com idade de 7 e 16 anos em Minas Gerais.** Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.

Frente à problemática das mudanças climáticas, há a necessidade de saber o potencial de remoção de dióxido de carbono pelas culturas permanentes, como a da lavoura do café. Contudo, há a falta de ferramentas para estimar o estoque e incremento de carbono desta cultura. O objetivo do trabalho foi ajustar equações para estimar o estoque e o incremento de carbono em lavouras de café com idade de 7 e 16 anos. As coletas foram feitas em Três Pontas, no sul de Minas Gerais. Os pés de café selecionados foram cortados e todos os componentes (tronco, folhas, galhos e frutos), bem como a serapilheira, foram pesados em campo. Amostras do tronco foram retiradas em três alturas diferentes: 0%, 50% e 100%. A coleta de raízes foi realizada por meio de trincheiras. As raízes finas, grossas e pivotantes foram separadas e pesadas em campo. As amostras de todos os componentes foram retiradas, pesadas e colocadas em sacos de papel para a secagem em estufa e posterior determinação do peso seco. O ajuste das equações se deu por meio das informações de biomassa, teor e estoque de carbono, que foram determinadas a partir dos pesos secos e análise de CHNS, respectivamente, para cada componente da planta. Ainda, realizou-se os ajustes para as áreas de 7 (A1) e 16 anos (A2), bem como para ambas áreas juntas (geral). O incremento médio anual de carbono por componente e indivíduo se fez a partir da relação das médias dos estoques totais e a idade (A1 e A2). Ao final deste trabalho, constatou-se que os melhores ajustes para as A1, A2 e Geral foram do modelo de Meyer. Além disso, o estoque de carbono para A1 e A2 foram, respectivamente, $29,99 \text{ MgCO}_2 \cdot \text{ha}^{-1}$ e $40,97 \text{ MgCO}_2 \cdot \text{ha}^{-1}$. Os Incrementos Médios Anuais em dióxido de carbono (IMACO₂) foram $3,3 \text{ MgCO}_2 \cdot \text{ha} \cdot \text{ano}^{-1}$ e $2,2 \text{ MgCO}_2 \cdot \text{ha} \cdot \text{ano}^{-1}$ para A1 e A2, respectivamente e, com uma média de $2,7 \text{ MgCO}_2 \cdot \text{ha} \cdot \text{ano}^{-1}$. Com isso, a partir das medições de DAS (Diâmetro a Altura do Solo) e de altura das plantas de café consegue-se estimar o estoque e incremento de carbono nas lavouras de café por meio da equação gerada neste trabalho. Assim, os valores encontrados podem ser utilizados para determinar o balanço de carbono em propriedades cafeeiras, afim de reduzir as emissões de GEE durante o processo de produção do café.

Palavras-chave: Remoção de carbono; Resíduos de café; Mitigação de gases de efeito estufa.

ABSTRACT

ALBUQUERQUE, Thaynara Pereira Albuquerque, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2023. **Carbon stock and increase in coffee crops aged 7 and 16 years in Minas Gerais.** Adviser: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine

Currently there is a need to know the potential for removal by other crops, such as coffee cultivation. However, there is a lack of tools to estimate carbon stock and increment. The objective of the work was to adjust equations to estimate stocks and determine the increase in carbon in coffee crops aged 7 and 16 years. The collections were made in Três Pontas, in the south of Minas Gerais. The selected coffee plants were cut and all components (trunk, leaves, branches and fruits) as well as the litter were weighed. Trunk samples were taken at three different heights: 0%, 50% and 100%. Root collection was carried out through trenches. The fine, thick and pivoting roots were separated and weighed in the field. Samples of all components were removed and placed in paper bags for oven drying and subsequent dry weight determination. The equations were adjusted using biomass, content and carbon stock information, which were determined from dry weights and CHNS analysis, respectively, for each plant component. Furthermore, adjustments were made for the areas of 7 (A1) and 16 years (A2), as well as for both areas together (general). The average annual carbon increase per constituent and individual was calculated based on the relationship between the average total stocks and age (A1 and A2). At the end of this work, it was found that the best adjustments for A1, A2 and General were from the Meyer model. Furthermore, the carbon stock for A1 and A2 were, respectively, 29.99 $\text{MgCO}_2\cdot\text{ha}^{-1}$ and 40.97 $\text{MgCO}_2\cdot\text{ha}^{-1}$. The Average Annual Increments in carbon dioxide (IMACO₂) were 3.3 $\text{MgCO}_2\cdot\text{ha}\cdot\text{year}^{-1}$ and 2.2 $\text{MgCO}_2\cdot\text{ha}\cdot\text{year}^{-1}$ for A1 and A2, respectively, with an average of 2.7 $\text{MgCO}_2\cdot\text{ha}\cdot\text{year}^{-1}$. Therefore, using the equation for estimating the carbon stock and carbon increment data, it is possible to facilitate the participation of coffee crops as sources of carbon removal in carbon balances on coffee properties, in order to reduce GHG emissions during the coffee production process.

Key words: Carbon removal; Coffee waste; Greenhouse gas mitigation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	8
2. OBJETIVO GERAL	10
REFERÊNCIAS	11
ARTIGO 1.....	13
1. INTRODUÇÃO	15
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
2.1. Caracterização da área de coleta	16
2.2. Coleta de dados.....	16
2.3 Preparo das amostras.....	17
2.4 Biomassa, teor, estoque e incremento de carbono.....	17
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4. CONCLUSÃO	22
REFERÊNCIAS.....	22
ARTIGO 2.....	25
1. INTRODUÇÃO	28
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
2.1. Caracterização da área de coleta	29
2.2. Coleta de dados.....	29
2.3 Preparo das amostras.....	30
2.4 Biomassa, teor e estoque de carbono	31
2.5 Ajuste de equação	32
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4. CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS.....	40
APÊNDICES.....	43

1. INTRODUÇÃO GERAL

A preocupação mundial com as mudanças climáticas levou ao estabelecimento de diversos acordos internacionais. Em 2015, o tratado internacional, intitulado como Acordo de Paris, reuniu 195 países com o objetivo de traçar medidas para reduzir o aquecimento global. A proposta neste acordo é limitar a elevação da temperatura em 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais (UFCCC, 2015).

Além do empenho em reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), há a necessidade de buscar alternativas para a remoção de carbono. Sabe-se que as florestas, nativas ou plantadas, possuem um alto potencial de remoção de carbono (MORAIS JUNIOR et al, 2020; SCHETTINI et al., 2022). Porém, atualmente há a necessidade de saber o potencial de remoção por outras culturas, como no cultivo do café.

A cultura de café possui grande importância na geração de renda e empregos no país, desde a lavoura até a comercialização dos grãos (Embrapa, 2021). De acordo com o Ministério da Agricultura e Pecuária, o Brasil é o maior produtor e exportador do café do mundo e o segundo maior consumidor, ficando atrás apenas dos Estados Unidos (MAP, 2023). Ainda, a área total destinada à cafeicultura passa dos 2 milhões de hectares em 2023, podendo atingir até 54,94 milhões de sacas do grão beneficiado (Conab, 2023; Embrapa, 2023).

O gênero *Coffea* possui variedades (FERREIRA et al., 2021) e é cultivado em todas as regiões do Brasil, de Sul ao Norte (GUERRA *et al.*, 2021). A região Sudeste lidera a produção e representa 86,4%, e em seguida vem a região Nordeste do país, com 6,3%, bem como a região Norte, Sul e Centro-oeste representando 5%, 1,4% e 0,9%, respectivamente (Embrapa, 2023). Segundo o relatório Valor Bruto de Produção (VBP) de agosto de 2023, o faturamento previsto para a cultura do café é de R\$48 bilhões e ocupa a quarta posição do ranking nacional das lavouras (Observatório do Café, 2023).

Por se tratar de uma cultura perene, ou seja, que permanece na área por um longo período de tempo, também pode ser considerada uma alternativa de remoção de carbono (QUINTÃO et al., 2021). O estoque de carbono presentes na cultura pode ser utilizado para neutralizar as emissões referentes a sua produção, desde o campo à comercialização do grão.

A cultura de café com a sua perenidade incrementa carbono em sua biomassa, assim como outras culturas de ciclo longo. Porém, ainda, não se sabe ao certo o potencial de incremento médio anual em dióxido de carbono que cafezais possuem.

Nesse sentido, a busca de alternativas de remoção e estocagem de carbono na superfície terrestre, corrobora para o estudo do potencial que a cultura de café possui neste cenário.

Assim, este estudo está dividido em:

- ARTIGO 1: Incremento de carbono em lavouras café com 7 e 16 anos de idade.
- ARTIGO 2: Ajuste de equações para estimar carbono em lavouras de café com idade de 7 e 16 anos.

2. OBJETIVO GERAL

Ajustar equações para estimativa de estoque e determinar o incremento de carbono em lavouras de café com idade de 7 e 16 anos.

REFERÊNCIAS

Conab – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira: Café - 3º Levantamento Safra 2023. Boletim de Safras. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe>> Acesso em: 15 de out. 2023.

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tecnologia de Alimentos: Café. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/grupos-de-alimentos/cafebrasileiro>> Acesso em: 15 de out. 2023.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Estudos Socioeconômicos e Ambientais. 2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/83620998/faturamento-bruto-do-total-das-lavouras-brasileiras-aumenta-45-em-cinco-anos-e-deve-atingir-r-804-bilhoes-em-2023>> Acesso em: 15 de out. 2023.

FERREIRA, M. L.; ANDRADE, A. M.; SANTIAGO, W. E. Geoprocessing applied to the identification of areas suitable for coffee cultivation. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e17410414050-e17410414050, 2021.

GUERRA, A. F. *et al.* Cafés do Brasil: pesquisa, sustentabilidade e inovação. **Tecnologias Poup-Terra**, cap. 5, 2021.

MACHADO, D. L.; DE LIMA, S. S.; PEREIRA, M. G. Caracterização da composição e estrutura da fauna epígea em monocultivos de café e eucalipto, no Norte do Espírito Santo. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e32810615652-e32810615652, 2021.

MAP – Ministério de Agricultura e Pecuária. Brasil é o maior produtor mundial e o segundo maior consumidor de café. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/brasil-e-o-maior-produtor-mundial-e-o-segundo-maior-consumidor-de-cafe>> Acesso em: 15 de out. de 2023.

MORAIS JUNIOR, V. T. M. et al. Growth and survival of potential tree species for carbon-offset in degraded areas from southeast Brazil. **Ecological Indicators**, v. 117, p. 106514, 2020.

Observatório do Café. Valor Bruto da Produção: **VBP agosto de 2023**. Disponível em: <http://www.consorciopesquisacafe.com.br/images/stories/noticias/2021/2023/Agosto/VBP_08_23.pdf> Acesso em: 15 de out. 2023.

QUINTÃO, J. M. B. et al. Mudanças do uso e cobertura da terra no Brasil, emissões de GEE e políticas em curso. **Ciência e Cultura**, v. 73, n. 1, p. 18-24, 2021.

SCHETTINI, B. L. S. et al. Use of destructive and non-destructive methodologies to estimate stem biomass accumulation and carbon stock in an eucalyptus forest. **Revista Árvore**, v. 46, p. e4611, 2022.

UNFCCC. **United Nations:** Framework Convention on Climate Change – Adoption of the Paris Agreement. 2015. Disponível em:
<<https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>> Acesso em: 12 dez. 2022.

ARTIGO 1

Incremento e estoque de carbono em lavouras de café com 7 e 16 anos de idade

RESUMO

ALBUQUERQUE, Thaynara Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2023. **Incremento e estoque de carbono em lavouras café com 7 e 16 anos de idade.** Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.

A estimativa do potencial de estoque e incremento de carbono da cultura de café vai ao encontro da demanda do mercado por produtos neutros ou com baixa emissão de carbono. O objetivo do trabalho foi determinar o estoque e incremento de carbono em duas áreas de cultivo de café com 7 e 16 anos. As coletas foram feitas em Três Pontas, no sul de Minas Gerais. Os pés de café selecionados foram cortados e todos os componentes (tronco, folhas, galhos e frutos) bem como a serapilheira foram pesados. Amostras do tronco foram retiradas em três alturas diferentes: 0%, 50% e 100%. A coleta de raízes foi realizada por meio de trincheiras. As raízes finas, grossas e pivotantes foram separadas e pesadas em campo. As amostras de todos os componentes foram retiradas e colocadas em sacos de papel para a secagem em estufa e posterior determinação do peso seco. A biomassa, o teor e o estoque de carbono foram determinados a partir dos pesos secos e análise de CHNS, respectivamente, para cada componente da planta. O incremento médio anual de carbono por componente e indivíduo se deu por meio da relação das médias dos estoques totais e a idade ($A1 - 7$ anos e $A2 - 16$ anos). O estoque de carbono para $A1$ e $A2$ foram, respectivamente, $29,99 \text{ MgCO}_2 \cdot \text{ha}^{-1}$ e $40,97 \text{ MgCO}_2 \cdot \text{ha}^{-1}$. Os galhos e folhas foram, juntos, responsáveis por 49,5%, para $A1$ e 48,7% para $A2$, do estoque e incremento de carbono na cultura do café. Os Incrementos Médios Anuais em dióxido de carbono (IMACO_2) foram $3,3 \text{ MgCO}_2 \cdot \text{ha} \cdot \text{ano}^{-1}$ e $2,2 \text{ MgCO}_2 \cdot \text{ha} \cdot \text{ano}^{-1}$ para $A1$ e $A2$, respectivamente e, com uma média de $2,7 \text{ MgCO}_2 \cdot \text{ha} \cdot \text{ano}^{-1}$. Desse modo, conclui-se que a cultura do café apresenta potencial de estocagem de carbono e pode contribuir para a neutralidade do carbono da atividade.

Palavras-chave: Culturas agrícolas; Mercado cafeeiro; Remoção de carbono.

ABSTRACT

ALBUQUERQUE, Thaynara Pereira Albuquerque, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2023. **Increase and carbon stock in 7 and 16 year old coffee crops.** Adviser: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.

Knowing the carbon stock and increase potential of coffee farming meets the market demand for neutral or low-carbon products. The objective of the work was to determine the carbon stock and increase in two areas of coffee cultivation with 7 and 16 years. The collections were made in Três Pontas, in the south of Minas Gerais. The selected coffee plants were cut and all components (trunk, leaves, branches and fruits) as well as the litter were weighed. Trunk samples were taken at three different heights: 0%, 50% and 100%. Root collection was carried out through trenches. The fine, thick and pivoting roots were separated and weighed in the field. Samples of all components were removed and placed in paper bags for oven drying and subsequent dry weight determination. Biomass, carbon content and carbon stock were determined from dry weights and CHNS analysis, respectively, for each plant component. The average annual carbon increase per constituent and individual was obtained through the relationship between the average total stocks and age (A1 – 7 years and A2 – 16 years). The carbon stock for A1 and A2 were, respectively, 29.99 MgCO₂.ha⁻¹ and 40.97 MgCO₂.ha⁻¹. The branches and leaves were, together, responsible for 49.5%, for A1 and 48.7% for A2, of the carbon stock and increase in coffee cultivation. The Average Annual Increments in carbon dioxide (IMACO₂) were 3.3 MgCO₂.ha.year⁻¹ and 2.2 MgCO₂.ha.year⁻¹ for A1 and A2, respectively, with an average of 2.7 MgCO₂.ha.year⁻¹. Therefore, it is concluded that IMACO₂ is higher in twigs and leaves and lower in trunks and roots.

Key words: Agricultural crops; Coffee market; Carbon removal.

1. INTRODUÇÃO

O Acordo de Paris levou a diversas iniciativas em todo o mundo afim de limitar o aumento da temperatura média global a 1,5°C (UNFCCC, 2022). O Brasil é o sétimo país mais poluidor do planeta (SEEG, 2023) e, portanto, a busca por estratégias de redução das emissões de gases de efeito estufa e remoção de carbono são constantes.

Sabe-se do papel essencial que as florestas, nativas e plantadas, possuem neste cenário de mudanças climáticas (MORAIS JUNIOR et al., 2020; SCHETTINI et al., 2022). E, devido a isso, vários estudos acerca da estocagem e incremento de carbono nessas áreas são realizados (SOUZA et al., 2023; OLIVEIRA et al., 2022; CONDÉ et al., 2022; DANTAS et al., 2020; MORALES et al., 2023). Porém, há ainda a demanda de pesquisas sobre o potencial de estoque e incremento de outras culturas, como o gênero *Coffea*.

O café é uma cultura perene, permanecendo na área por um longo período de tempo, e assim como as espécies florestais, também pode ser considerado como uma alternativa de remoção de carbono (QUINTÃO et al., 2021). Por ser o maior produtor e exportador de café do mundo (GUERRA et al., 2021), o Brasil exportou, em 2022, cerca de 39,4 milhões de sacas para diversos mercados internacionais (MAP, 2023).

O café possui grande importância econômica e social, não só no Brasil, mas também no mercado mundial (EMBRAPA, 2023). Por ser um produto agrícola de importância expressiva mundialmente, a necessidade de produzi-lo de forma mais sustentável ganha-se força. A busca por certificações que assegurem a sustentabilidade do produto é necessária e cobrada pelo mercado externo (LEME & PINTO, 2019; WAHYUDI et al., 2020).

Nesse sentido, face à problemática das mudanças climáticas, saber o potencial de estoque e incremento de carbono dessa cultura vai ao encontro da demanda do mercado por produtos neutros ou com baixa emissão de carbono ao serem produzidos.

Portanto, este trabalho teve como objetivo determinar o estoque e incremento de carbono em duas áreas de cultivo de café com 7 e 16 anos. Além disso, objetivou-se determinar o percentual de contribuição no estoque de carbono de cada componente da planta.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de coleta

A área onde foram realizadas as coletas dos dados e amostras para a geração das equações se localiza no município de Três Pontas, na região sul de Minas Gerai. O clima predominante da região é o Tropical de Altitude (Cwb de acordo com a classificação de Köppen), com temperatura média de 20.3 °C e pluviosidade média anual de 1429 mm (ClimateData, 2019).

Realizou-se as coletas em duas propriedades, Caxambú e Aracaçú. Juntas, as fazendas somam 374,8 ha, sendo 205 ha com o cultivo de mais de vinte variedades de café. Tais variedades estão distribuídas em 57 talhões, de tamanhos variados.

As coletas dos dados foram feitas em dois talhões, um em cada propriedade. O primeiro talhão, chamado de “Catuaí do mato”, tem 5 ha e 7 anos de idade (Área 1) O segundo talhão, denominado como “Ovo”, se localiza na fazenda Caxambú e possui 6,8 ha, com 16 anos (Área 2). Ambos os talhões são da variedade *Catuaí*.

2.2. Coleta de dados

A coleta dos dados primários foi realizada em 10 parcelas lançadas em cada talhão, em que cada parcela continha 30 indivíduos. Variáveis dendométricas, como altura da planta (h) e diâmetro à altura do solo (DAS) foram coletadas por meio do inventário.

Após o inventário as plantas amostras foram selecionadas para realização da cubagem rigorosa, com o intuito de determinar a biomassa dos pés de café. Realizou-se a seleção das plantas a partir da distribuição diamétrica dos dados coletados no inventário.

Selecionou-se doze plantas-amostras para cada área e os mesmos foram cortados, e todas as folhas, galhos e frutos, foram retirados e pesados, bem como o tronco e a serapilheira. Retirou-se amostras de cada componente da planta (folhas, galhos e frutos) e serapilheira, colocando-as em sacos de papel e pesando-as, obtendo-se assim o peso úmido.

Nos troncos, também foram retiradas e pesadas amostras em três alturas diferentes: 0%, 50% e 100%. A coleta da parte radicular foi feita em uma planta-amostra de cada centro de classe, sendo no total quatro centros de classes em cada área. Trincheiras, com dimensão correspondente à um quarto da área útil do pé de café (metade do espaçamento entre linha e entre planta), foram abertas e o mesmo

procedimento de pesagem foi realizado. A raiz foi pesada e, posteriormente, separou-se as raízes finas e grossas por meio do peneiramento, e após a separação as mesmas foram ensacadas e pesadas, bem como as amostras da raiz pivotante.

2.3 Preparo das amostras

As amostras coletadas foram levadas ao Laboratório de Painéis e Energia da Biomassa (LAPEM), na Universidade Federal de Viçosa – UFV. No LAPEM, todas as amostras da parte aérea e radicular foram secas em estufas, e posteriormente pesadas, obtendo-se o peso seco. A temperatura utilizada para a secagem das folhas, frutos, serapilheira e raízes, pivotantes, finas e grossas foi de $60^{\circ}\text{C}\pm 5$. As amostras de galhos e troncos foram secas a $105^{\circ}\text{C}\pm 5$. Após a secagem das amostras, as mesmas foram trituradas e peneiradas em peneiras de tamanhos variados de acordo com o tipo de análise a ser realizada.

2.4 Biomassa, teor, estoque e incremento de carbono

A biomassa total do tronco de cada planta-amostra, bem como a biomassa de galhos e de folhas foi obtida pela equação 1.

$$\text{PS}(c) = \text{PU}(c) * \text{PS}(a) / \text{PU}(a) \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

PS(c) = biomassa de tronco, galhos ou de folhas, em kg;

PU(c) = peso úmido do conjunto de tronco, galhos ou de folhas no campo, em kg;

PS(a) = peso seco da amostra de tronco, galhos ou de folhas, em kg;

PU(a) = peso úmido da amostra de tronco, galhos ou de folhas, em kg.

O teor de carbono para cada componente da planta foi determinado pela análise química elementar. Utilizou-se uma massa equivalente a 2,0 g ($\pm 0,5\text{g}$) de serragem seca à temperatura de $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$, previamente selecionada em peneiras sobrepostas com malhas de 200 e 270 mesh, utilizando a fração retida nessa última. A análise elementar foi realizada em duplicatas (PAULA *et al.*, 2011).

Com os teores de C (fator carbono) e os valores de biomassa, determinou-se a quantidade de carbono estocada em cada componente/planta pela equação 2. A partir

do estoque de carbono de cada componente, o estoque total por planta foi obtido por meio da equação 3.

$$C_{ij} = B_{ij} * FC_i \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

C_{ij} = quantidade de carbono estocada na área i , no componente/planta-amostra j ;

B_{ij} = biomassa da área i , do componente/planta-amostra j ;

FC_i = fator carbono do componente i .

$$C_i = \sum C_{ij} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

C_i = estoque total por planta-amostra;

$\sum C_{ij}$ = somatório do estoque de carbono por planta-amostra.

As médias do estoque total de carbono (μC) e o incremento médio anual em dióxido de carbono (IMA_{CO_2}) foram calculados por componente para as duas áreas (equações 4 e 5). A conversão dos dados de carbono (C) para dióxido de carbono (CO_2) foi feita por multiplicação do fator (44/12) referente a conversão entre os pesos moleculares dos CO_2 e C.

$$\mu CO_{2j} = \sum C_{ij} / n \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

μCO_{2j} = média do estoque total de carbono por componente;

$\sum C_{ij}$ = somatório do estoque de carbono por planta-amostra, em $kgCO_2$;

n = número de planta-amostra.

$$IMA_{CO_2j} = [(\mu CO_{2j}) / (l)] \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

IMA_{CO_2j} = incremento médio anual em dióxido de carbono;

l = idade do plantio, em anos;

μCO_{2j} = média do estoque de dióxido de carbono por componente, em $kgCO_2.ind^{-1}$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias de DAS para A1 e A2 foram, respectivamente, 6,60 cm e 8,78 cm, enquanto para HT foram de 239,12 cm e 335,22 cm (Tabela 1 e 2). O estoque de carbono para A1 e A2 foram, respectivamente, 26,48 MgCO₂.ha⁻¹ e 34,53 MgCO₂.ha⁻¹ (Tabela 3 e 4). O maior valor de estoque na A2 se deve a maiores valores de DAS e HT das plantas, o que já se espera de plantios mais velhos.

Tabela 1. Média dos Diâmetro a Altura do Solo (DAS) e Altura Total (HT) das parcelas da área 1, com 7 anos de idade

PARCELA	DAS (cm)	HT (cm)
1	6,97	238,00
2	7,08	243,67
3	6,63	235,33
4	7,02	236,50
5	6,72	234,67
6	6,31	246,67
7	6,55	212,00
8	6,16	243,50
9	6,35	258,00
10	6,16	242,83
MÉDIA	6,60	239,12

Tabela 2. Média dos Diâmetro a Altura do Solo (DAS) e Altura Total (HT) das parcelas da área 2, com 16 anos de idade

PARCELA	DAS (cm)	HT (cm)
1	8,11	310,67
2	8,54	332,33
3	8,72	314,17
4	8,74	298,00
5	8,83	336,83
6	8,85	360,33
7	9,16	357,33
8	9,01	339,67
9	8,80	366,33
10	9,07	336,50
MÉDIA	8,78	335,22

Tabela 3. Estoques médios por indivíduo e por hectare, e percentual de contribuição de cada componente para área 1

Componente	Nº plantas.ha ⁻¹	µCO ₂ por ind. (kgCO ₂ .ind ⁻¹)	µCO ₂ por ha (MgCO ₂ .ha ⁻¹)	Carbono por componente (%)
Folhas	4630	1,25	5,80	19,3%
Fruto	4630	0,85	3,94	13,1%
Galhos	4630	1,96	9,05	30,2%
Raiz Fina	4630	0,07	0,68	2,3%
Raiz Grossa	4630	0,25	2,49	8,3%
Raiz Pivotante	4630	0,34	3,36	11,2%
Serapilheira	4630	0,59	2,73	9,1%
Tronco	4630	0,42	1,92	6,4%
TOTAL	-	5,72	29,99	100%

Tabela 4. Estoques médios por indivíduo e por hectare, e percentual de contribuição de cada componente para área 2

Componente	Nº plantas.ha ⁻¹	µCO ₂ por ind. (kgCO ₂ .ind ⁻¹)	µCO ₂ por ha (MgCO ₂ .ha ⁻¹)	Carbono por componente (%)
Folhas	3404	2,03	6,91	16,9%
Fruto	3404	1,09	3,71	9,1%
Galhos	3404	3,83	13,03	31,8%
Raiz Fina	3404	0,08	0,83	2,0%
Raiz Grossa	3404	0,37	3,72	9,1%
Raiz Pivotante	3404	0,51	5,17	12,6%
Serapilheira	3404	0,84	2,85	6,9%
Tronco	3404	1,39	4,75	11,6%
TOTAL	-	10,14	40,97	100%

Os valores de estoque de ambas áreas são similares aos encontrados em outros estudos com cultivo de café de 4 a 16 anos, onde os estoques variaram, em média, de 33,73 MgCO₂.ha⁻¹ a 39,05 MgCO₂.ha⁻¹ (COLTRI et al., 2015; SILVA et al., 2013).

Estudos indicam que o estoque de carbono por plantas de café pode variar a depender do sistema de cultivo (HERGOUALC'H et al., 2012; LEITE et al., 2015), como por exemplo, cultivos de café a pleno sol, arborizado e estabelecidos em sistemas agroflorestais (COLTRI et. al, 2011; MATOS et. al, 2019).

Ao analisar a distribuição de carbono pelos componentes da planta, percebe-se que galhos e folhas se destacam, sendo responsáveis juntos por 49,5%, para A1 e

48,7% para A2, do estoque de carbono na cultura do café (Tabela 3 e 4). Em contrapartida, o sistema radicular representa 21,8% e 23,7% do carbono estocado, para A1 e A2, respectivamente.

Os Incrementos Médios Anuais em dióxido de carbono (IMACO₂) foram 3,3 MgCO₂.ha.ano⁻¹ e 2,2 MgCO₂.ha.ano⁻¹ para A1 e A2, respectivamente, média de 2,7 MgCO₂.ha.ano⁻¹ (Tabela 5). Estudos em florestas nativas secundárias da Mata Atlântica encontraram incrementos em carbono que variaram de 4,2 MgCO₂.ha.ano⁻¹ a 7,3 MgCO₂.ha.ano⁻¹ (VILLANOVA et al., 2018; VILLANOVA et al., 2019).

O incremento dos componentes fruto e serapilheira foram desconsiderados, pois, os frutos são colhidos e não ficam na área. Já no caso da serapilheira, não se sabe sobre os dados de anos anteriores ao plantio do café. Ainda, por ter variação em seu acúmulo sobre o solo entre os anos, por causa do esqueletamento, resolveu-se não considerar na estimativa da estocagem de carbono.

Tabela 5. Estoque de carbono por hectare (μCO₂) e Incremento Médio Anual (IMACO₂) para as áreas 1 e 2

Área	Idade (anos)	μCO ₂ por ha (MgCO ₂ .ha ⁻¹)	IMACO ₂ (MgCO ₂ .ha.ano ⁻¹)
1	7	23,3*	3,3*
2	16	34,4*	2,2*
MÉDIA	-	28,9*	2,7*

*Desconsidera o estoque e incremento dos componentes fruto e serapilheira.

Nota-se que A2 possui maior valor de estoque de carbono em relação a A1. Em contrapartida, A1 possui maior valor de incremento em carbono anual ao se comparar com A2. Em florestas jovens, o incremento é maior em comparação a florestas mais maduras (MELLO et al., 2019; MENDES et al., 2021).

Ainda, tal diferença pode ser explicada pelo o tipo de manejo existente na lavoura de café, como no caso da área do presente estudo, onde as plantas de café sofrem podas periódicas (esqueletamento) de seus galhos/folhas.

Podas recorrentes estimulam o crescimento de folhas e galhos, o que aumenta a produção de biomassa e, conseqüentemente, o estoque de carbono (SOMARRIBA & QUESADA, 2022; PUJO NUGROHO, 2023). E, alinhado ao crescimento de folhas e galhos, em lavouras mais jovens, há ainda o crescimento em altura, o que já não é esperado em lavouras mais velhas.

4. CONCLUSÃO

Incremento Médio Anual em CO₂ é maior nos galhos e folhas e menor nos troncos e raízes.

Lavouras de café mais novas possuem maior incremento de carbono, quando comparada às lavouras mais velhas.

O incremento de carbono pela cultura do café é significativo quando se compara ao de floresta nativas, o que demonstra o seu potencial na estocagem de carbono.

REFERÊNCIAS

- COLTRI, P. P. et al. Empirical models to predict LAI and aboveground biomass of *Coffea arabica* under full sun and shaded plantation: a case study of South of Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 89, p. 621-636, 2015.
- CONDÉ, T. M. et al. Effects of sustainable forest management on tree diversity, timber volumes, and carbon stocks in an ecotone forest in the northern Brazilian Amazon. **Land use policy**, v. 119, p. 106145, 2022.
- DANTAS, D. et al. Above and belowground carbon stock in a tropical forest in Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 43, 2020.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Estudos Socioeconômicos e Ambientais**. 2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/83620998/faturamento-bruto-do-total-das-lavouras-brasileiras-aumenta-45-em-cinco-anos-e-deve-atingir-r-804-bilhoes-em-2023>> Acesso em: 28 de out. 2023.
- GUERRA, A. F. et al. Cafés do Brasil: pesquisa, sustentabilidade e inovação. **Tecnologias Poupa-Terra**, cap. 5, 2021.
- HERGOUALC'H, K. et al. Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 148, p. 102-110, 2012.
- LEITE, E. R. S. et al. Composição química elementar da madeira e do carvão vegetal de *Coffea arabica* para uso bioenergético. **Coffee Science**, v. 10, n. 4, p. 537-547, 2015.
- LEME, Paulo Henrique Montagnana Vicente; PINTO, Cintia Loos. Qualidade e sustentabilidade: sistemas de certificação do café sob a ótica dos Pilares da Qualidade. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 4, 2019.

MAP – Ministério de Agricultura e Pecuária. Brasil é o maior produtor mundial e o segundo maior consumidor de café. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/brasil-e-o-maior-produtor-mundial-e-o-segundo-maior-consumidor-de-cafe>> Acesso em: 28 de out. de 2023.

MATOS, P. et al. **Caracterização do estoque de carbono para estimativa de biomassa de cafeeiros associados à grevilea**. 2019. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/12550>> Acesso em: 28 out. 2023.

MELLO, Anabel Aparecida et al. Estimativas de biomassa e carbono em área de mata atlântica, implantada por meio de reflorestamento misto. **Biofix Scientific Journal**, v. 5, n. 1, p. 130-134, 2019.

MENDES, Keila R. et al. Assessment of SITE for CO₂ and energy fluxes simulations in a seasonally dry tropical Forest (Caatinga Ecosystem). **Forests**, v. 12, n. 1, p. 86, 2021.

MORAIS JUNIOR, V. T. M. *et al.* Growth and survival of potential tree species for carbon-offset in degraded areas from southeast Brazil. **Ecological Indicators**, v. 117, p. 106514, 2020.

MORALES, Marina Moura et al. Eucalyptus Carbon Stock Research in an Integrated Livestock-Forestry System in Brazil. **Sustainability**, v. 15, n. 10, p. 7750, 2023.

OLIVEIRA, K. et al. Survival and carbon stock of forest species in mixed plantation at 8 years of age. **SCIENTIA FORESTALIS**, v. 51, 2022

PUJO NUGROHO, R. et al. Response of Different Coffee-Based Agroforestry Management on Microbial Respiration and Density. **Journal of Ecological Engineering**, v. 24, n. 9, 2023.

QUINTÃO, J. M. B. et al. Mudanças do uso e cobertura da terra no Brasil, emissões de GEE e políticas em curso. **Ciência e Cultura**, v. 73, n. 1, p. 18-24, 2021.

SCHETTINI, B. L. S. *et al.* Use of destructive and non-destructive methodologies to estimate stem biomass accumulation and carbon stock in an eucalyptus forest. **Revista Árvore**, v. 46, p. e4611, 2022.

SEEG - Seminário Nacional sobre Emissões de Gases de Efeito Estufa. **Análise das emissões brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil**. 2023. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2020/12/OC_RelatorioSEEG2020_final.pdf> Acesso em: 15 out. 2023

SOUZA, C. R. et al. Carbon stock and uptake in the high-elevation tropical montane forests of the threatened Atlantic Forest hotspot: Ecosystem function and effects of elevation variation. **Science of The Total Environment**, v. 882, p. 163503, 2023.

SILVA, A. B. et al. Estoques de carbono no solo e em plantas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Interciencia**, v. 38, n. 4, p. 286-291, 2013.

SOMARRIBA, E.; QUESADA, F. Modeling age and yield dynamics in *Coffea arabica* pruning systems. **Agricultural Systems**, v. 201, p. 103450, 2022.

VILLANOVA, Paulo Henrique et al. Carbon stock growth in a secondary Atlantic Forest. **Revista Árvore**, v. 43, 2019.

VILLANOVA, P. H. et al. Prognosis of the diameter distribution and carbon stock in a secondary atlantic forest by markov chain. **Revista Árvore**, v. 42, 2018.

UNFCCC. **United Nations:** Framework Convention on Climate Change – COP26. 2021. Disponível em: < <https://news.un.org/pt/story/2021/11/1770042>> Acesso em: 13 dez. 2022.

WAHYUDI, A. et al. Sustainability certification as a pillar to promote Indonesian coffee competitiveness. In: IOP Conference Series: **Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2020. p. 012009.

ARTIGO 2

AJUSTE DE EQUAÇÕES PARA ESTIMAR CARBONO EM LAVOURAS DE CAFÉ COM IDADE DE 7 E 16 ANOS

RESUMO

ALBUQUERQUE, Thaynara Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2023. **Ajuste de equações para estimar carbono em lavouras de café com idade de 7 e 16 anos.** Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.

As ferramentas utilizadas no inventário e manejo florestal estão bem consolidadas para avaliação de crescimento de espécies, como também seu potencial estoque de carbono. Em outras culturas ferramentas, como a modelagem, ainda são pouco utilizadas. O objetivo desse trabalho foi encontrar o melhor ajuste de equação para estimar carbono em áreas de 7 e 16 anos, bem como para área geral. As coletas foram feitas no sul de Minas Gerais. Os pés de café selecionados foram cortados e todos os componentes (tronco, folhas, galhos e frutos), bem como a serapilheira, foram pesados em campo. Amostras do tronco foram retiradas em três alturas diferentes: 0%, 50% e 100%. A coleta de raízes foi realizada por meio de trincheiras. As raízes finas, grossas e pivotantes foram separadas e pesadas em campo. As amostras de todos os componentes foram retiradas, pesadas e colocadas em sacos de papel para a secagem em estufa e posterior determinação do peso seco. O ajuste das equações se deu por meio das informações de biomassa, teor e estoque de carbono, que foram determinadas a partir dos pesos secos e análise de CHNS, respectivamente, para cada componente da planta. Ainda, realizou-se os ajustes para as áreas de 7 (A1) e 16 anos (A2), bem como para ambas áreas juntas (geral). A combinação de componentes com melhores resultados foram: folhas, galhos, troncos e raízes finas, grossas e pivotantes. Os dois modelos que mais se destacaram, considerando o erro padrão (S_{xy}) e o coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), foram Meyer e Naslund. Já a geral, o modelo Meyer também se destacou com 28,1 e 0,71 para S_{xy} e $R^2_{aj.}$, respectivamente. Portanto, conclui-se que foi possível ajustar potenciais equações para estimativas de estoque de carbono confiáveis, a partir do modelo de Meyer, para as áreas de 7 e 16 anos. O ajuste das equações permitirá a estimativa de carbono em lavouras de café, com a coleta apenas dos DAS (Diâmetro à altura do solo) e Altura das plantas.

Palavras-chave: Estoque de carbono; Culturas agrícolas; Modelagem.

ABSTRACT

ALBUQUERQUE, Thaynara Pereira Albuquerque, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2023. **Adjustment of equations to estimate carbon in coffee crops aged 7 and 16 years.** Adviser: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine

By using forest management tools, it becomes possible to monitor areas and assess the growth of species, as well as their potential carbon stock. Such tools, such as modeling, make it possible to estimate carbon stocks, becoming an interesting tool for estimating carbon in crops such as coffee. The objective of this work was to find the best equation adjustment to estimate carbon in areas of 7 and 16 years, as well as in areas with different ages. The collections were made in the south of Minas Gerais. The selected coffee plants were cut and all components (trunk, leaves, branches and fruits) as well as the litter were weighed. Trunk samples were taken at three different heights: 0%, 50% and 100%. Root collection was carried out through trenches. The fine, thick and pivoting roots were separated and weighed in the field. Samples of all components were removed and placed in paper bags for oven drying and subsequent dry weight determination. The equations were adjusted using biomass, content and carbon stock information, which were determined from dry weights and CHNS analysis, respectively, for each plant component. Furthermore, adjustments were made for the areas of 7 (A1) and 16 years (A2), as well as for both areas together (general). The combination of compartments with the best results were: leaves, branches, trunks and thin, thick and pivoting roots. The two models that stood out the most, considering the standard error (S_{xy}) and the adjusted coefficient of determination ($R^2_{aj.}$), were Meyer and Naslund. As for A12, the Meyer model also stood out with 28.1 and 0.71 for S_{xy} and $R^2_{aj.}$, respectively. Therefore, it is concluded that it was possible to adjust potential equations for reliable carbon stock estimates, based on the Meyer model, for the 7 and 16 year areas.

Key words: Carbon stock; Agricultural crops; Modeling.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os dez países mais poluidores do mundo, ocupando o sétimo lugar (SEEG, 2023), e assumiu diversos compromissos voluntários para a redução de suas emissões de Gases Estufa (SOARES e CUNHA, 2019). Além do empenho em reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), há a necessidade de buscar alternativas para a remoção de carbono.

Nesse sentido, sabe-se que as florestas, nativas ou plantadas, possuem um alto potencial de estoque e remoção de carbono (MORAIS JUNIOR et al, 2020; SCHETTINI et al., 2022). Porém, atualmente há a necessidade de saber o potencial de remoção por outras culturas, como no cultivo do café.

O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo, além de ocupar o segundo lugar como maior consumidor de café mundial (GUERRA *et al.*, 2021). Segundo o IBGE, em 2019 cerca de 78% dos produtores de café eram considerados cafeicultores familiar.

Neste cenário, a área ocupada pela cafeicultura no Brasil passa dos 2 milhões de hectares em 2023, com acréscimo de 0,8% em relação a 2022 (Empraba, 2023). Ainda, a cultura se encontra atualmente em quarto lugar no ranking nacional das lavouras, com o faturamento previsto de R\$ 48 bilhões para 2023 (Observatório do Café, 2023).

Pensando na possibilidade de utilizar a cultura de café como alternativa para remoções de carbono, se faz necessário criar formas mais simplificadas para a estimativa de estoque de carbono, como já existe para florestas nativas e plantadas.

Ao se utilizar de ferramentas de manejo florestal, torna-se possível o acompanhamento de áreas e avaliação de crescimento de espécies, como também seu potencial estoque de carbono (GAIKADI *et al.*, 2023; MARÇAL *et al.*, 2021). Tais ferramentas, como a modelagem, possibilita a estimativa de estoque de carbono (CHAGAS; CAMPOS; LEITE, 2006), se tornando uma interessante ferramenta para estimar carbono em culturas como o café.

Nesse sentido, a obtenção de equações viabiliza a estimar o estoque e incremento de carbono por meio dos dados de DAS (Diâmetro à Altura do Solo) e altura das plantas de café. O objetivo desse trabalho foi encontrar o melhor ajuste de equação para estimar carbono em áreas de 7 e 16 anos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de coleta

A área onde foram realizadas as coletas dos dados e amostras para a geração das equações se localiza no município de Três Pontas, na região sul de Minas Gerais. O clima predominante da região é o Tropical de Altitude (Cwb de acordo com a classificação de Köppen), com temperatura média de 20.3 °C e pluviosidade média anual de 1429 mm (ClimateData, 2019).

Realizou-se as coletas em duas propriedades, Caxambú e Aracaçú. Juntas, as fazendas somam 374,8 ha, sendo 205 ha com o cultivo de mais de vinte variedades de café. Tais variedades estão distribuídas em 57 talhões, de tamanhos variados.

As coletas dos dados foram feitas em dois talhões, um em cada propriedade. O primeiro talhão, chamado de “Catuaí do mato”, tem 5 ha e 7 anos de idade (Área 1) O segundo talhão, denominado como “Ovo”, se localiza na fazenda Caxambú e possui 6,8 ha, com 16 anos (Área 2). Ambos os talhões são da variedade *Catuaí*.

2.2. Coleta de dados

A coleta dos dados primários foi realizada em 10 parcelas lançadas em cada talhão, em que cada parcela continha 30 indivíduos. Variáveis dendométricas, como altura da planta (h) e diâmetro a altura do solo (DAS) foram coletadas por meio do inventário.

Após o inventário as plantas amostras foram selecionadas para determinar a biomassa dos pés de café. Realizou-se a seleção das plantas a partir da distribuição diamétrica dos dados coletados no inventário. Ao todo, determinou-se quatro centros de classe, sendo três plantas por cada centro de classe, em ambas áreas.

Os pés de café selecionados foram cortados, e todas as folhas, galhos e frutos, foram retirados e pesados, bem como o tronco e a serapilheira. Retirou-se amostras de cada componente da planta (folhas, galhos e frutos) e serapilheira, colocando-as em sacos de papel e pesando-as, obtendo-se assim o peso úmido.

Nos troncos, também foram retiradas e pesadas amostras em três alturas diferentes: 0%, 50% e 100%. A coleta da parte radicular foi feita em uma planta de cada centro de classe, sendo no total quatro centros de classes. Trincheiras, com dimensão correspondente à um quarto da área útil do pé de café (metade do espaçamento entre linhas e entre plantas), foram abertas e o mesmo procedimento de pesagem foi realizado. Separou-se as raízes finas e grossas por meio do

peneiramento, e após a separação as mesmas foram ensacadas e pesadas, bem como as amostras da raiz pivotante.



Figura 1 – Folhas, frutos, galhos e tronco de uma planta-amostra.



Figura 2 – Raízes finas e grossas e a pivotante de uma planta-amostra.

2.3 Preparo das amostras

As amostras coletadas foram levadas ao Laboratório de Painéis e Energia da Biomassa (LAPEM), na Universidade Federal de Viçosa – UFV. No LAPEM, todas as amostras da parte aérea e radicular foram secas em estufas, e posteriormente pesadas, obtendo-se o peso seco. A temperatura utilizada para a secagem das folhas, frutos, serapilheira e raízes, pivotantes, finas e grossas foi de $60^{\circ}\text{C}\pm 5$. As amostras

de galhos e troncos foram secas a $105^{\circ}\text{C}\pm 5$. Após a secagem das amostras, as mesmas foram trituradas e peneiradas em peneiras de tamanhos variados de acordo com o tipo de análise a ser realizada.

2.4 Biomassa, teor e estoque de carbono

A partir dos pesos úmidos e secos das amostras, a biomassa foi determinada. Com os pesos úmidos totais obtidos em campo, realizou-se a extrapolação da biomassa para todas as plantas, bem como a estimativa para cada componente da planta (Equação 1)

$$PS(c) = PU(c) * PS(a) / PU(a) \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

PS(c) = biomassa de tronco, galhos, folhas ou de raízes, em kg;

PU(c) = peso úmido do conjunto de tronco, galhos, folhas ou de raízes no campo, em kg;

PS(a) = peso seco da amostra de tronco, galhos, folhas ou de raízes, em kg;

PU(a) = peso úmido da amostra de tronco, galhos, folhas ou de raízes, em kg.

O teor de carbono para cada componente da planta foi determinado pela análise química elementar. Utilizou-se uma massa equivalente a 2,0 g ($\pm 0,5$ g) de serragem seca à temperatura de $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$, previamente selecionada em peneiras sobrepostas com malhas de 200 e 270 mesh, utilizando a fração retida nessa última. A análise elementar foi realizada em duplicatas (PAULA *et al.*, 2011).

Com os teores de C (fator carbono) e os valores de biomassa, determinou-se a quantidade de carbono estocada em cada componente/planta pela equação 2. A partir do estoque de carbono de cada componente, o estoque total por planta foi obtido por meio da equação 3.

$$C_{ij} = B_{ij} * FC_i \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

C_{ij} = quantidade de carbono estocada na área i, no componente/planta-amostra j;

B_{ij} = biomassa da área i, do componente/planta-amostra j;

FC_i = fator carbono do componente i.

$$C_i = \sum C_{ij} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

C_i = estoque total por planta-amostra;

$\sum C_{ij}$ = somatório do estoque de carbono por planta-amostra.

2.5 Ajuste de equação

Os ajustes das equações foram realizados no software RStudio. A escolha do melhor ajuste para cada área (área 1 e área 2), bem como para as áreas juntas (área geral), foi feita por meio de testes de oito modelos (tabela 1), sendo 6 lineares e 2 não-lineares. Os parâmetros utilizados para a escolha da equação foram as medidas de precisão (R^2_{Aj} e S_{yx}) e o gráfico de dispersão dos resíduos.

Tabela 1 - Modelos de carbono testados

Tipo	n	Denominação	Modelo
Linear	1	Spurr	$C = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAS^2 HT + \varepsilon_i$
	2	Parabólico	$C = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAS + \beta_2 \cdot DAS^2 + \varepsilon_i$
	3	Stoate	$C = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAS^2 + \beta_2 \cdot (DAS^2 \cdot HT) + \beta_3 \cdot HT + \varepsilon_i$
	4	Naslund	$C = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAS^2 + \beta_2 \cdot (DAS^2 \cdot HT) + \beta_3 \cdot (HT^2 \cdot DAS) + \beta_4 \cdot HT^2 + \varepsilon_i$
	5	Meyer modificado	$C = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAS + \beta_2 \cdot DAS^2 + \beta_3 \cdot DAS \cdot HT + \beta_4 \cdot (DAS^2 \cdot HT) + \varepsilon_i$
	6	Meyer	$C = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAS + \beta_2 \cdot DAS^2 + \beta_3 \cdot DAS \cdot HT + \beta_4 \cdot (DAS^2 \cdot HT) + \beta_5 \cdot HT + \varepsilon_i$
Não-linear	7	Spurr	$C = \beta_0 + DAS^2 \cdot HT^{\beta_1} + \varepsilon_i$
	8	Schummacher	$C = \beta_0 \cdot DAP^{\beta_1} \cdot HT^{\beta_2} + \varepsilon_i$

Além disso, testou-se três combinações diferentes de dados de entrada afim de comparar e selecionar as melhores combinações para gerar os melhores ajustes. As combinações foram: i) todos os componentes (A); ii) parte área e parte radicular (B); e iii) parte área (C) (tabela 2).

Tabela 2 – Combinações de dados de entrada para teste dos modelos de carbono

Combinação	Descrição	Componente
A	todos os componentes coletados	frutos, folhas, galhos, troncos, serapilheira, raízes finas, grossas e pivotantes
B	parte aérea + parte radicular	folhas, galhos, troncos, raízes finas, grossas e pivotantes
C	parte aérea	folhas, galhos e troncos

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos ajustes das equações para as três combinações (A, B e C), selecionou-se B (parte aérea + parte radicular) como a melhor combinação de dados para ambas as áreas (vide anexo). Isso se deve à menor variabilidade entre os dados, uma vez que considera apenas os componentes ligados diretamente à planta, que são o DAS (Diâmetro a Altura do Solo) e Ht (Altura total).

Dentre os modelos ajustados, o modelo linear Meyer apresentou o menor erro padrão e o maior coeficiente de determinação ajustado para A1, A2 e Geral (Tabela 3, 4 e 5), sendo ainda o único modelo utilizado que possui cinco entradas.

Devido ao comportamento perene da cultura de café, é possível compará-la ao monocultivo de *Eucalyptus sp* (MACHADO *et al.*, 2021). Ainda, assim como as espécies de eucalipto, a cultura de café já foi submetida a diversos melhoramentos genéticos, com o intuito de aumentar a produtividade e a qualidade dos grãos (CARVALHO *et al.*, 2016).

Trabalhos indicam que modelo de Meyer apresentam bons ajustes e erros significativamente baixos para espécies florestais, inclusive para estimativa de estoque de carbono em plantios de eucalipto (FERREIRA e BATISTA, 2021; LIMA *et al.*, 2014; ROLIM, *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2016).

Os modelos linear e não-linear de Spurr apresentaram resultados de erro padrão superiores aos demais modelos, para A2 (Tabela 3). Já para A1 e Geral, os modelos de pior ajuste foram Parabólicos e Spurr não-linear, com altos valores de erro padrão e menores coeficientes de determinação ajustado (Tabela 4 e 5).

Percebe-se que os modelos de única entrada ou modelos que consideram apenas o DAS em seu ajuste, tiveram suas medidas de precisão piores em relação aos demais. A falta de um bom ajuste desses modelos pode ser atribuída à necessidade de mais entradas e número de parâmetros (DOLÁCIO *et al.*, 2019), bem como a inclusão de outra variável independente, como a altura.

Os gráficos de dispersão e resíduos dos modelos ajustados para as áreas 2 e 1 (Figura 3,4,5,e 6), indicam erros acima de 50% para os modelos de Spurr linear, Parabólico, Naslund, Meyer modificado, Spurr não-linear e Schumacher não-linear. O modelo de Stoaete permanece próximo de 50%, enquanto o modelo de Meyer está abaixo de 50%, corroborando com o resultado de Sxy para este modelo.

Espera-se bons ajustes de modelos não lineares em plantios de *Eucalyptus sp.*, como é o caso de Schumacher (BATISTA *et al.*, 2022; SCHETTINI *et al.*, 2022). O

modelo foi desenvolvido relacionando as variáveis diâmetro e altura com base na fórmula do volume de um cilindro (VALADÃO *et al.*, 2020). Contudo, a planta de café não segue o formato cilíndrico de uma árvore e, além disso, os principais componentes que estocam carbono são as folhas e galhos, o que pode explicar as baixas medidas de precisão do ajuste de Schumacher para a cultura de café.

A análise gráfica para a área geral (Figura 7 e 8) se alinha com os resultados de S_{xy} e R^2_{aj} encontrados para a junção das áreas, com dados mais dispersos e com erros próximos ou acima de 100%. Tal resultado se explica devido à maior variabilidade dos dados, que consideram áreas de diferentes idades, cultivadas em fazendas distintas, e que, portanto, se diferenciam no estoque de carbono.

Tabela 3 – Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa (S_{xy} em%) e coeficientes estimados para os modelos volumétricos, considerando a combinação de dados de entrada B para área 1

Modelo	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	S_{xy} (%)	R^2_{aj}
1	0,24858331620	0,00029846480					28,0702	0,7036
2	5,72526240000	-1,43149190000	0,15903140000				31,1719	0,5939
3	6,14461913430	-0,14593538710	0,00092668040	-0,02544511310			26,2130	0,6769
4	3,63732000000	-0,42090790000	0,00320307100	-0,00007193127	0,00020197890		21,8486	0,7435
5	9,80466921600	-1,25410033900	-0,07169594100	-0,00583025500	0,00133760200		24,1461	0,6867
6	-193,81985627000	57,15503816000	-3,93858478000	-0,25576422000	0,01787649000	0,87277087000	20,5885	0,7342
7	-9,17620560000	0,27529640000					31,4102	0,5876
8	0,00000595423	1,99953500000	1,72631100000				27,3416	0,6875

Tabela 4 – Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa (S_{xy} em%) e coeficientes estimados para os modelos volumétricos, considerando a combinação de dados de entrada B para área 2

Modelo	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	S_{xy} (%)	R^2_{aj}
1	1,262563907	0,000257932					34,6640	0,4563
2	-96,043029000	23,072483000	-1,243723000				31,5659	0,4991
3	4,688309434	-0,096641450	0,000493211	-0,006063902			31,6487	0,4335
4	18,300516299	0,980066664	-0,007942165	0,000263205	-0,001248258		22,2787	0,6792
5	-76,287256519	21,147541407	-1,326952542	-0,008916277	0,001126898		25,8483	0,5681
6	801,781092000	-187,032076000	10,404741300	0,629752800	-0,034929400	-2,695177400	19,9101	0,7011
7	-13,119676600	0,301482300					38,1548	0,4050
8	0,000077373	1,204303000	1,538056000				31,6903	0,4951

Tabela 5 – Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa (S_{xy} em%) e coeficientes estimados para os modelos volumétricos, considerando a combinação de dados de entrada B para área geral

Modelo	b₀	b₁	b₂	b₃	b₄	b₅	S_{xy} (%)	R²_{aj}
1	0,61202212450	0,00027854950					32,5517	0,6859
2	-15,46815830000	4,05370540000	-0,16358520000				42,7738	0,4318
3	0,13816201050	-0,02522529460	0,00031297520	0,00542071240			31,2522	0,6815
4	3,22028400000	0,13984060000	-0,00104643600	0,00004353601	-0,00019487470		30,4522	0,6817
5	-11,41419000000	3,63128000000	-0,27341970000	-0,00132201200	0,00049979480		30,1600	0,6878
6	73,43588224000	-16,46810016000	0,88309797000	0,08317327000	-0,00434790000	-0,35838152000	28,1373	0,7131
7	-11,72950430000	0,29433910000					33,4242	0,6530
8	0,00026131650	1,39059313870	1,26105717270				30,9307	0,7029

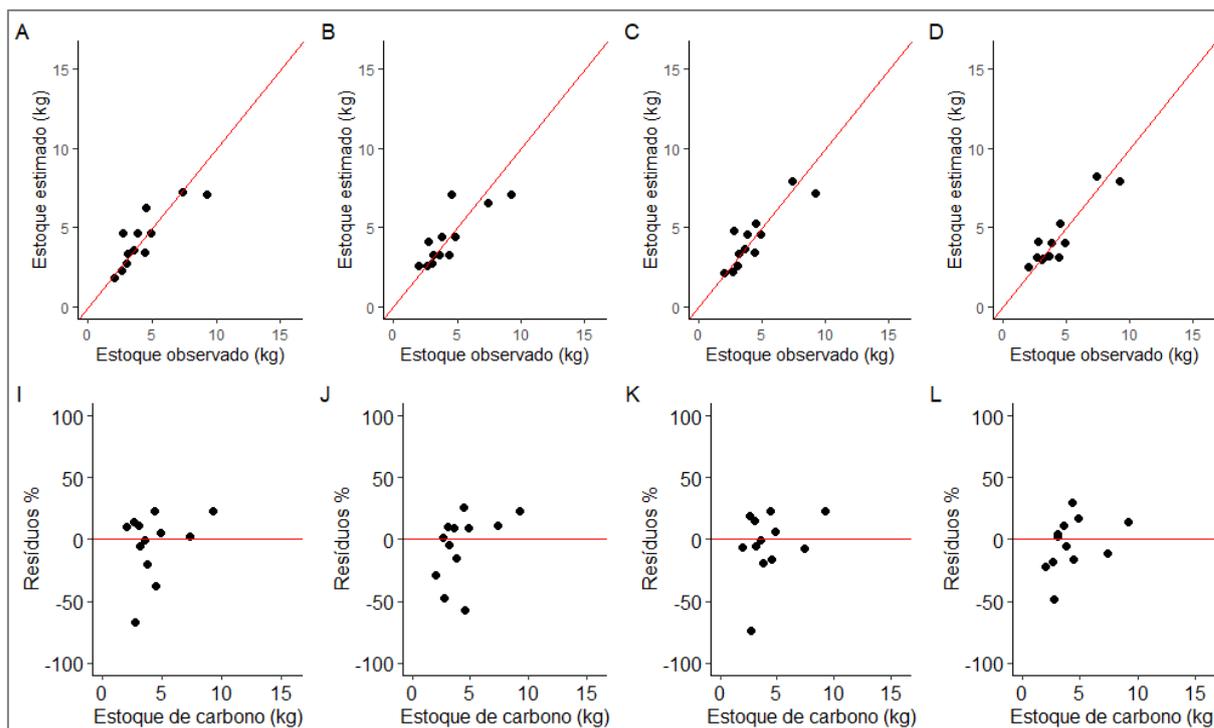


Figura 3 – Gráficos de Dispersão e Resíduos respectivamente para os modelos de Spurr (A e I), Parabólico (B e J), Naslund (C e K) e Stoate (D e L), considerando a combinação de dados de entrada B para área 1.

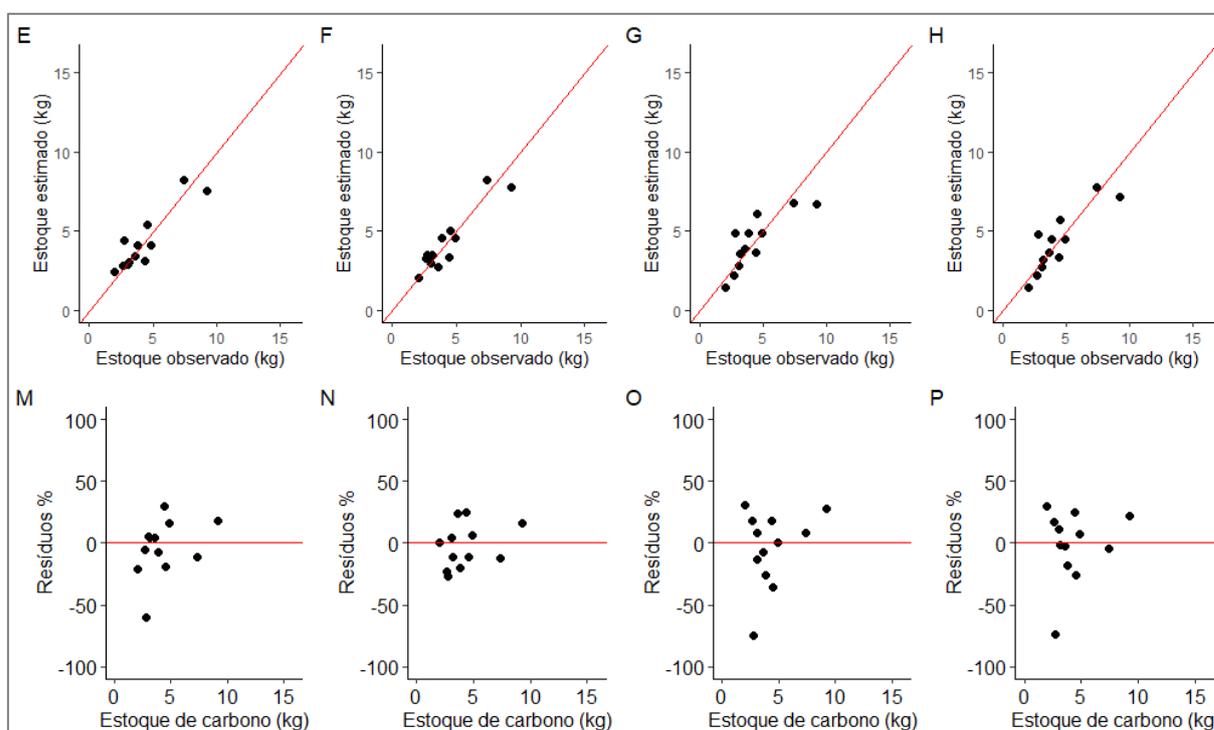


Figura 4 – Gráficos de Dispersão e Resíduos respectivamente para os modelos de Meyer Modificado (E e M), Meyer (F e N) Spurr Não-linear (G e O) e Schumacher Não-linear (H e P), considerando a combinação de dados de entrada B para área 1.

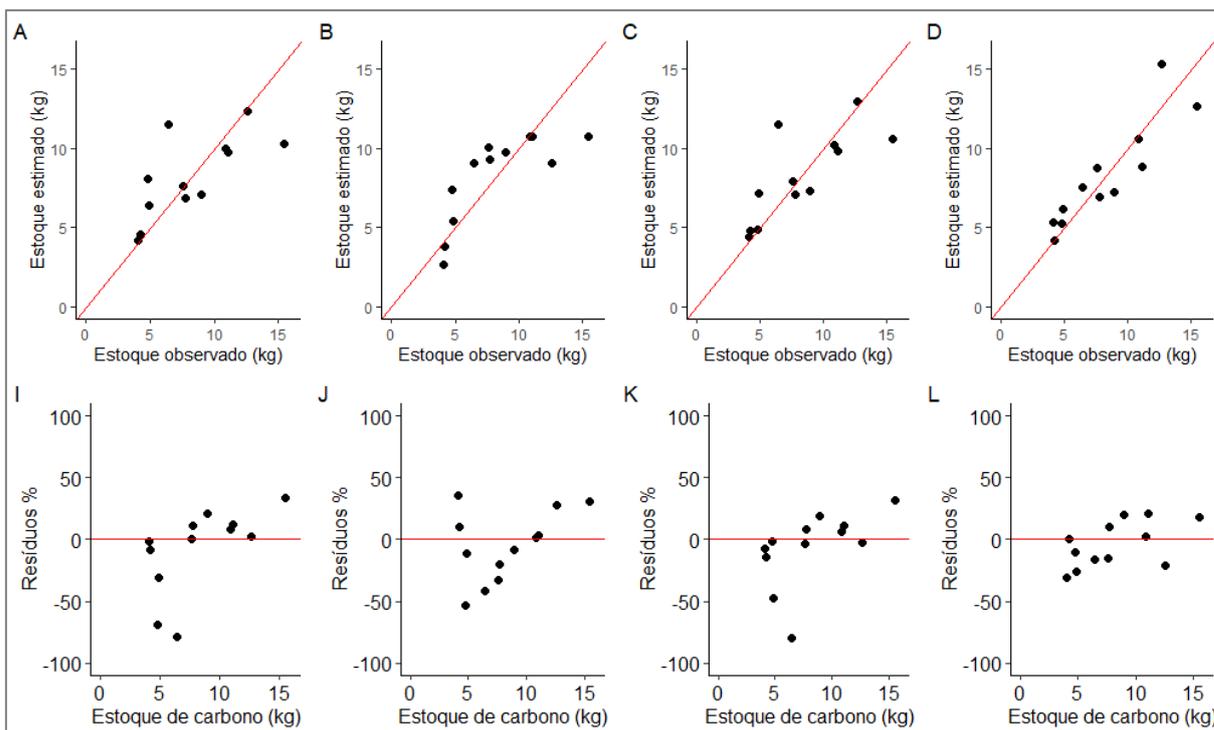


Figura 5 – Gráficos de Dispersão e Resíduos respetivamente para os modelos de Spurr (A e I), Parabólico (B e J), Naslund (C e K) e Stoate (D e L), considerando a combinação de dados de entrada B para área 2.

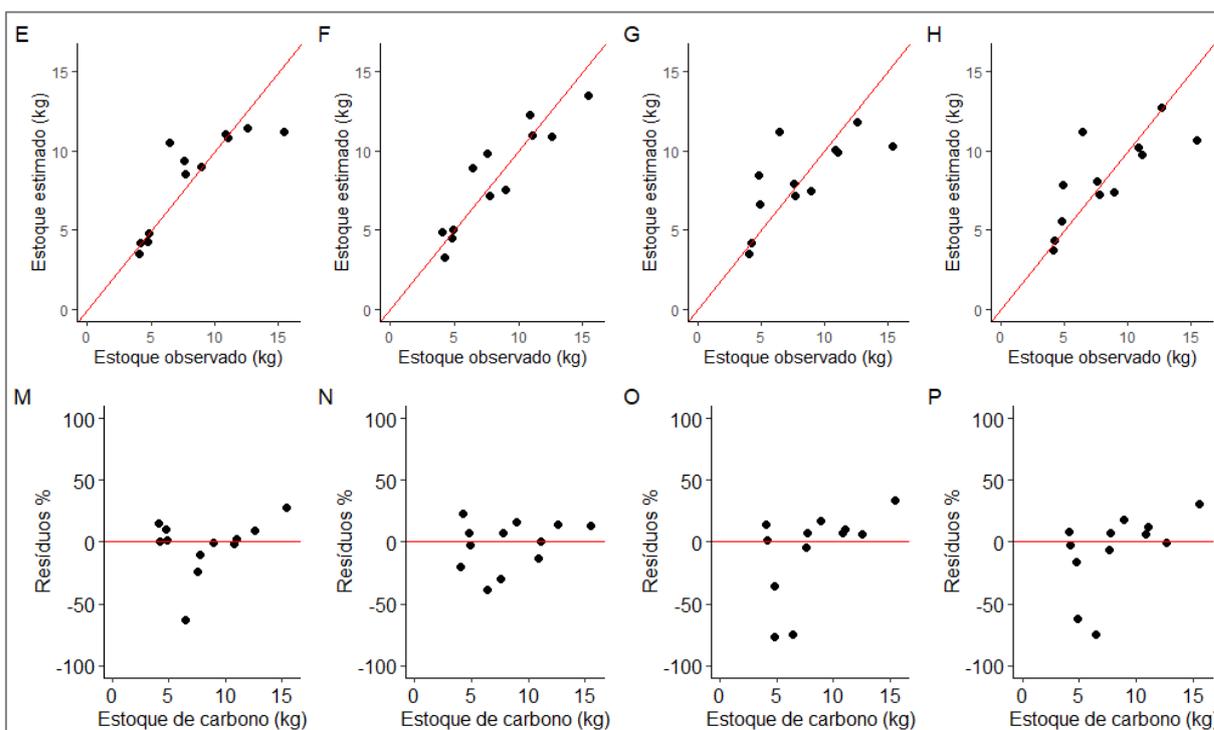


Figura 6 – Gráficos de Dispersão e Resíduos respetivamente para os modelos de Meyer Modificado (E e M), Meyer (F e N) Spurr Não-linear (G e O) e Schumacher Não-linear (H e P), considerando a combinação de dados de entrada B para área 2.

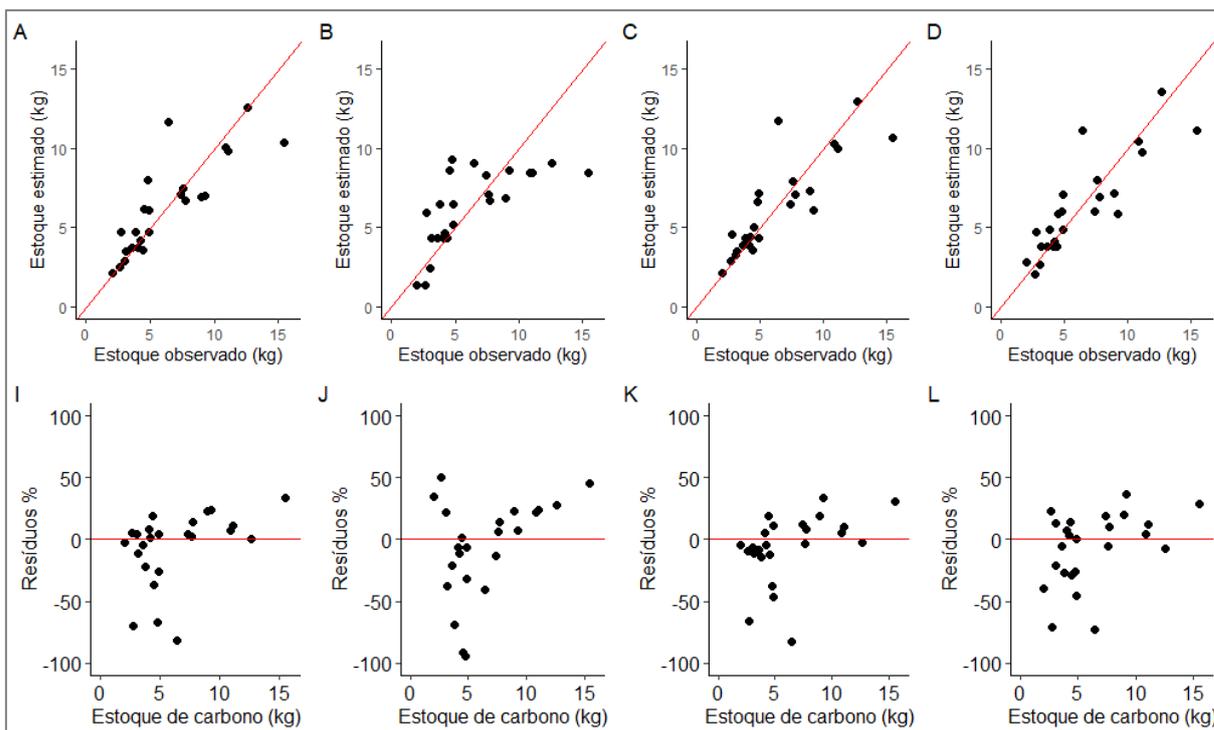


Figura 7 – Gráficos de Dispersão e Resíduos respectivamente para os modelos de Spurr (A e I), Parabólico (B e J), Naslund (C e K) e Stoate (D e L), considerando a combinação de dados de entrada B para área geral.

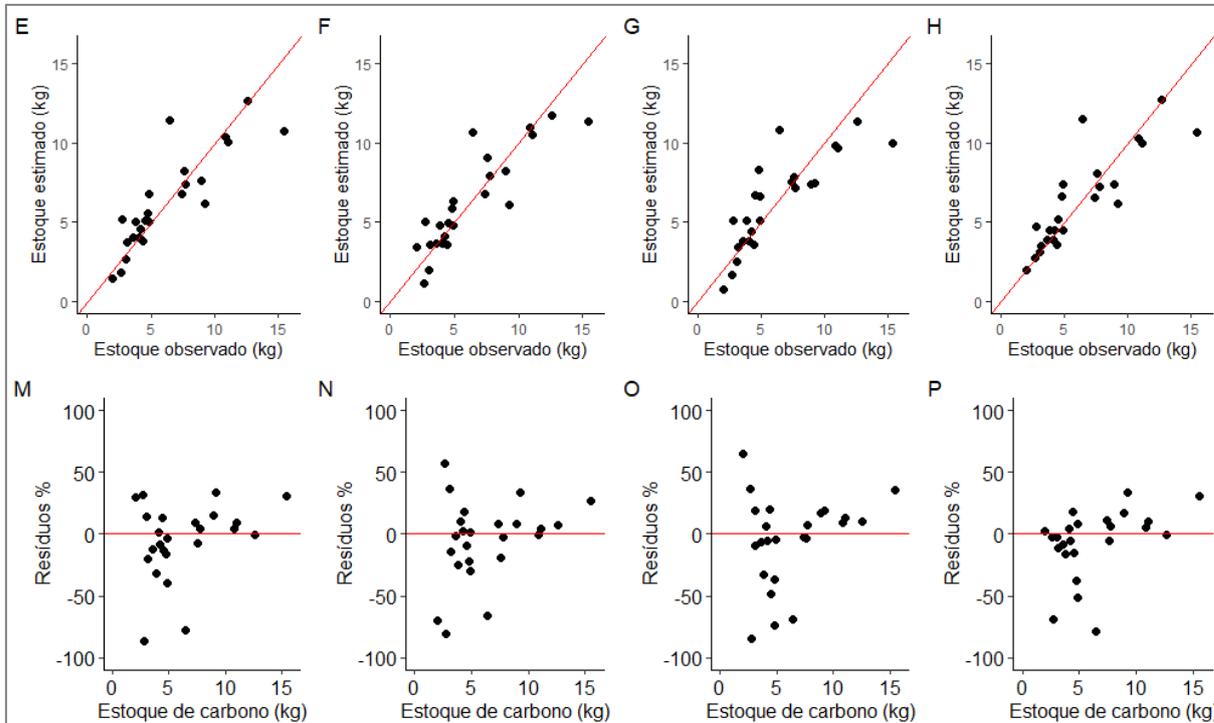


Figura 8 – Gráficos de Dispersão e Resíduos respectivamente para os modelos de Meyer Modificado (E e M), Meyer (F e N) Spurr Não-linear (G e O) e Schumacher Não-linear (H e P), considerando a combinação de dados de entrada B para área geral.

4. CONCLUSÃO

Conclui-se que foi possível ajustar potenciais equações para estimativas de estoque de carbono confiáveis, a partir do modelo de Meyer, para as áreas de 7 e 16 anos. A partir das medições de DAS (Diâmetro a Altura do Solo) e de altura das plantas de café consegue-se estimar o estoque e incremento de carbono nas lavouras de café por meio da equação gerada neste trabalho.

As equações geradas servirão de uma ferramenta importante para os produtores de café, com lavouras próximas a realidade do trabalho, que desejam estimar o estoque de carbono em suas propriedades, e com isso, verificar a sua contribuição para minimização das mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941: Madeira: determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 2003. p. 6.

BATISTA, T. S. *et al.* Artificial neural networks and non-linear regression for quantifying the wood volume in Eucalyptus species. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 84, n. 1, p. 01-07, 2022.

CLIMATEDATA. **Dados climáticos para cidades mundiais**: município de Três Pontas, MG. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/tres-pontas->> Acesso em: 15 de nov. de 2022.

CARVALHO, A. M. *et al.* Seleção de progênies de cafeeiros do grupo catucaí. **Embrapa**, 2016.

CHAGAS, J. C.; CAMPOS; LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. 5a ed. Viçosa: UFV, 2006.

DOLÁCIO, C. J. F. *et al.* Modelagem do carbono estocado no tronco de árvores de Eucalyptus com modelos lineares e rede neural artificial. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 2, p. 691-697, 2019.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Estudos Socioeconômicos e Ambientais. 2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/83620998/faturamento-bruto-do-total-das-lavouras-brasileiras-aumenta-45-em-cinco-anos-e-deve-atingir-r-804-bilhoes-em-2023>> Acesso em: 15 de out. 2023.

FERREIRA, V. P.; BATISTA, J. L. F. Utilização de variáveis qualitativas de localização em equações volumétricas e a seleção de modelos. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 1968-1990, 2022.

GUERRA, A. F. *et al.* Cafés do Brasil: pesquisa, sustentabilidade e inovação. **Tecnologias Poupa-Terra**, cap. 5, 2021.

GAIKADI, S.; SELVARAJ, V. Allometric model based estimation of biomass and carbon stock for individual and overlapping trees using terrestrial LiDAR. **Modeling Earth Systems and Environment**, p. 1-12, 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agro 2017**: resultados definitivos. [Rio de Janeiro, 2019]. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro> Acesso em: 15 out. 2023.

LIMA, R. B. De *et al.* Volumetria e classificação da capacidade produtiva para *Mora paraensis* (Ducke) no estuário amapaense. **Scientia Forestalis**, 2014. v. 42, p. 141–154.

MACHADO, D. L.; DE LIMA, S. S.; PEREIRA, M. G. Caracterização da composição e estrutura da fauna epígea em monocultivos de café e eucalipto, no Norte do Espírito Santo. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e32810615652-e32810615652, 2021.

MARÇAL, M. F. M. *et al.* Predictive models to estimate carbon stocks in agroforestry systems. **Forests**, v. 12, n. 9, p. 1240, 2021.

MORAIS JUNIOR, V. T. M. *et al.* Growth and survival of potential tree species for carbon-offset in degraded areas from southeast Brazil. **Ecological Indicators**, v. 117, p. 106514, 2020.

Observatório do Café. Valor Bruto da Produção: **VBP agosto de 2023**. Disponível em: <http://www.consorciopesquisacafe.com.br/images/stories/noticias/2021/2023/Agosto/VBP_08_23.pdf> Acesso em: 15 de out. 2023.

PAULA, L. E. R. *et al.* Characterization of residues from plant Biomass for use in Energy Generation. **Cerne**, v. 17, n. 2, p. 237–246, 2011.

R Development Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/> 08 out. 2023.

ROLIM, S. G. *et al.* Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). **Acta Amazonica**, 2006. v. 36, p. 107–114.

SANTOS, J. S. *et al.* Método de amostragem de Bitterlich: uma alternativa de inventário florestal para pequenas propriedades rurais fomentadas. Revista Brasileira de Ciências Agrárias - **Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, 31 mar. 2016. v. 11, n. 1, p. 46–52.

SCHETTINI, B. L. S. *et al.* Use of destructive and non-destructive methodologies to estimate stem biomass accumulation and carbon stock in an eucalyptus forest.

Revista Árvore, v. 46, p. e4611, 2022.

SEEG - Seminário Nacional sobre Emissões de Gases de Efeito Estufa. **Análise das emissões brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil**. 2023. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2020/12/OC_RelatorioSEEG2020_final.pdf> Acesso em: 15 out. 2023

SOARES, T. C.; CUNHA, D. A. Emissões de gases de efeito estufa e eficiência ambiental no Brasil. **Nova Economia**, v. 29, n. 2, p. 429–458, 2019.

VALADÃO, M. BX *et al.* Modeling biomass and nutrients in a eucalyptus stand in the cerrado. **Forests**, v. 11, n. 10, p. 1097, 2020.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: SIF, 1984. 21 p. (Boletim Técnico, 1).

APÊNDICES

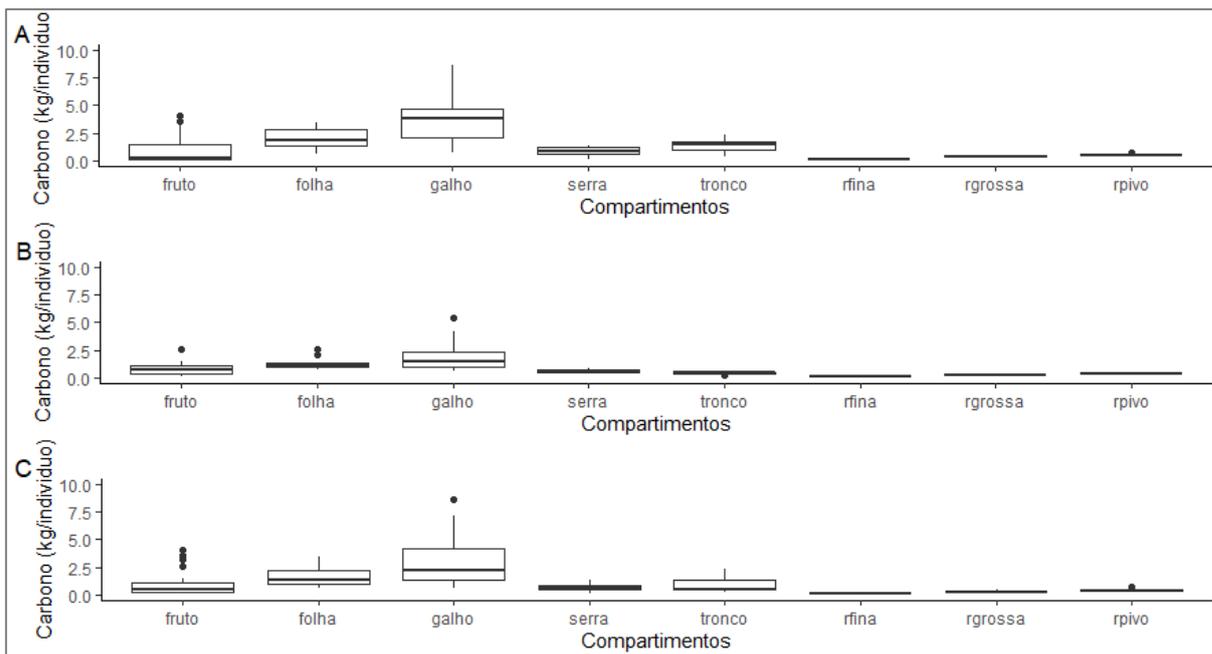


Figura 1 – Boxplot das estatísticas descritivas para os dados de carbono determinados a partir das coletas de e análises das amostras, para área 1(A), área 2 (B) e área 1 e 2 (C), considerando os dados de entrada A.

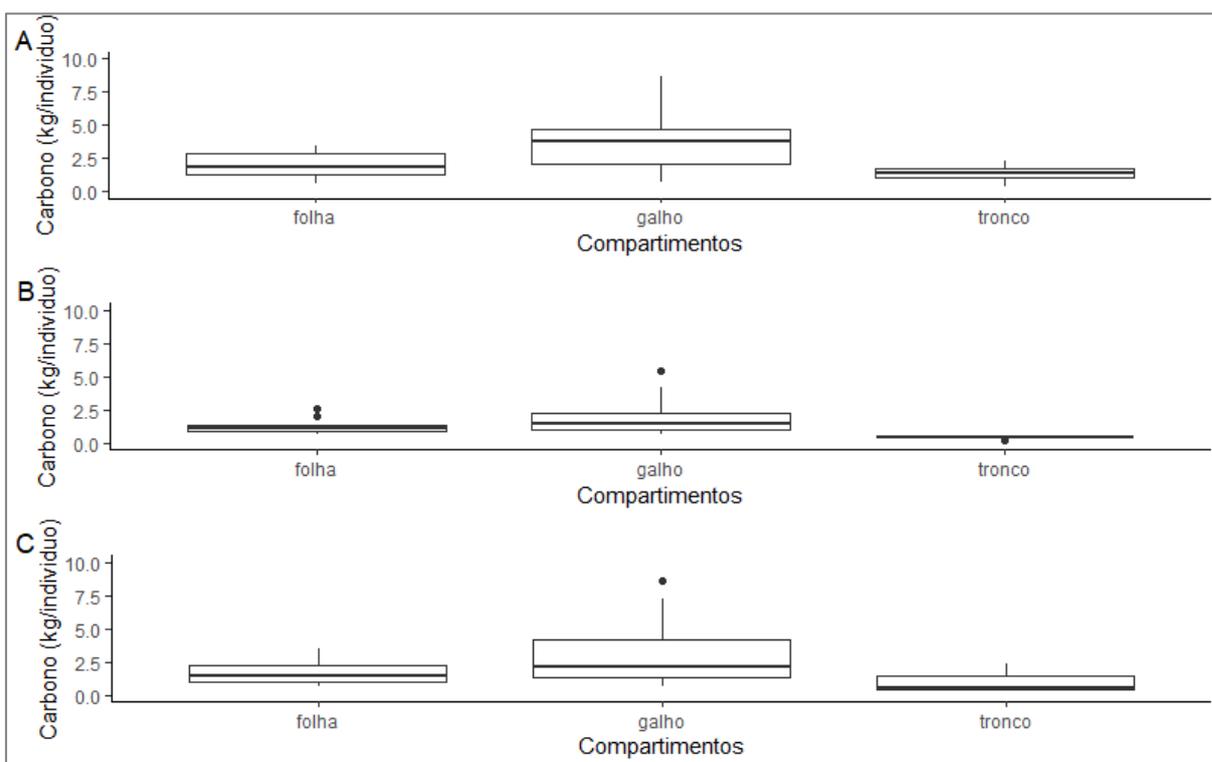


Figura 2 – Boxplot das estatísticas descritivas para os dados de carbono determinados a partir das coletas de e análises das amostras, para área 1(A), área 2 (B) e área 1 e 2 (C), considerando os dados de entrada C.

Tabela 1 – Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa (S_{xy} em%) e coeficientes estimados para os modelos volumétricos, considerando a combinação de dados de entrada A para área 1

Modelo	b₀	b₁	b₂	b₃	b₄	b₅	S_{xy} (%)	R²_{aj}
1	2,977448009	0,000265798					38,2784	0,3059
2	-137,189904000	33,173360000	-1,819923000				28,0096	0,5870
3	1,077112229	-0,062087673	0,000362003	0,013145973			35,2820	0,2628
4	19,777562976	1,053611679	-0,008502210	0,000279203	-0,001306082		29,6760	0,4040
5	-126,652600000	33,644070000	-2,026830000	-0,009727014	0,001139532		25,1116	0,5732
6	624,979625200	-144,559038200	8,015576400	0,536977800	-0,029724900	-2,307089400	22,3595	0,6053
7	-12,198594200	0,306009500					37,2999	0,2676
8	0,000466773	0,884698759	1,387147508				34,9581	0,3567

Tabela 2 – Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa (S_{xy} em%) e coeficientes estimados para os modelos volumétricos, considerando a combinação de dados de entrada A para área 2

Modelo	b₀	b₁	b₂	b₃	b₄	b₅	S_{xy} (%)	R²_{aj}
1	1,92980148780	0,00028073610					29,6336	0,5009
2	4,63640150000	-0,64850390000	0,10215320000				32,2914	0,3415
3	6,80252431600	-0,18109316300	0,00105447800	-0,02078463600			27,3469	0,4687
4	5,08535500000	-0,46261720000	0,00335527500	-0,00007164269	0,00020616640		25,0674	0,4898
5	10,23660307200	-1,05243123600	-0,12453885600	-0,00516825500	0,00144235300		26,4935	0,4301
6	-277,50825890000	81,48639580000	-5,58889730000	-0,35835370000	0,02481370000	1,23332560000	22,8944	0,5035
7	-7,20165980000	0,27103010000					31,0429	0,3914
8	0,00004883154	1,32161700000	1,65057800000				28,9170	0,4719

Tabela 3 – Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa (S_{xy} em%) e coeficientes estimados para os modelos volumétricos, considerando a combinação de dados de entrada A para área 12

Modelo	b₀	b₁	b₂	b₃	b₄	b₅	S_{xy} (%)	R²_{aj}
1	1,97799036890	0,00029429230					53,7895	0,5603
2	-21,77020000000	6,09260000000	-0,28820000000				64,7415	0,3327
3	-0,99446141900	-0,01539583000	0,00025215600	0,01735979000			50,5797	0,5723
4	4,07326200000	0,13023760000	-0,00099326770	0,00004117388	-0,00016979390		50,2068	0,5564
5	-15,15782000000	4,60385100000	-0,33501570000	0,00048903930	0,00037752430		48,4360	0,5872
6	114,02701449400	-25,99759641700	1,42579058800	0,12913370400	-0,00700312500	-0,54563838200	44,1632	0,6377
7	-10,92876800000	0,29920600000					35,3007	0,5371
8	0,00102033900	0,99454024300	1,21325298900				32,6713	0,6035

Tabela 4 – Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa (S_{xy} em%) e coeficientes estimados para os modelos volumétricos, considerando a combinação de dados de entrada C para área 1

Modelo	b₀	b₁	b₂	b₃	b₄	b₅	S_{xy} (%)	R²_{aj}
1	0,7608745967	0,000240743					38,2910	0,4324
2	-90,7823220000	21,742908000	-1,1747390000				35,4655	0,4589
3	4,4911313004	-0,102036257	0,0004932107	-0,0068731017			34,4820	0,4246
4	17,6018236280	0,959634612	-0,0078144037	0,0002588562	-0,0012276029		23,7145	0,6890
5	-69,6340095970	19,339657362	-1,2266511360	-0,0084073030	0,0010831250		28,8936	0,5383
6	785,8201642400	-183,478406800	10,2028993200	0,6138131600	-0,0340445700	-2,625764580	22,4436	0,6750
7	-12,9467820000	0,296095000					38,1548	0,3738
8	0,0000198368	1,233483000	1,7388520000				34,6654	0,4831

Tabela 5 – Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa (S_{xy} em%) e coeficientes estimados para os modelos volumétricos, considerando a combinação de dados de entrada C para área 2

Modelo	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	S_{xy} (%)	R^2_{aj}
1	-0,24220451430	0,00028639080					33,6431	0,6785
2	7,00522610000	-1,91497390000	0,18772830000				36,5376	0,5787
3	5,97276706990	-0,15022925490	0,00093343680	-0,02683605950			31,4043	0,6498
4	3,24452733750	-0,45721689380	0,00348706430	-0,00008111710	0,00023391760		24,8945	0,7485
5	11,13234138800	-1,76007954000	-0,04227985000	-0,00579082700	0,00133829600		28,0329	0,6811
6	-194,01655390000	57,08632030000	-3,93811690000	-0,25759580000	0,01800100000	0,87930460000	23,6802	0,7345
7	-9,36389160000	0,27157270000					37,7823	0,5495
8	0,00000046743	2,35150400000	2,02686100000				31,9475	0,6779

Tabela 6 – Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa (S_{xy} em%) e coeficientes estimados para os modelos volumétricos, considerando a combinação de dados de entrada C para área 12

Modelo	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	S_{xy} (%)	R^2_{aj}
1	0,18477013080	0,00025965670					36,6842%	0,6630
2	-14,65618270000	3,74963810000	-0,15120780000				47,4746%	0,4088
3	-0,09351480680	-0,02702147400	0,00030193040	0,00460583190			35,2126%	0,6585
4	2,74384100000	0,13263560000	-0,00100864200	0,00004184787	-0,00018774630		34,3371%	0,6582
5	-10,89260000000	3,39045800000	-0,25863210000	-0,00133643600	0,00048204890		34,1234%	0,6624
6	66,27495373300	-14,88907743400	0,79317179400	0,07550845100	-0,00392672400	-0,32593282900	32,1819%	0,6830
7	-11,59854100000	0,28888900000					37,7179%	0,6268
8	0,00010609980	1,46877970990	1,36529003970				34,9593%	0,6794

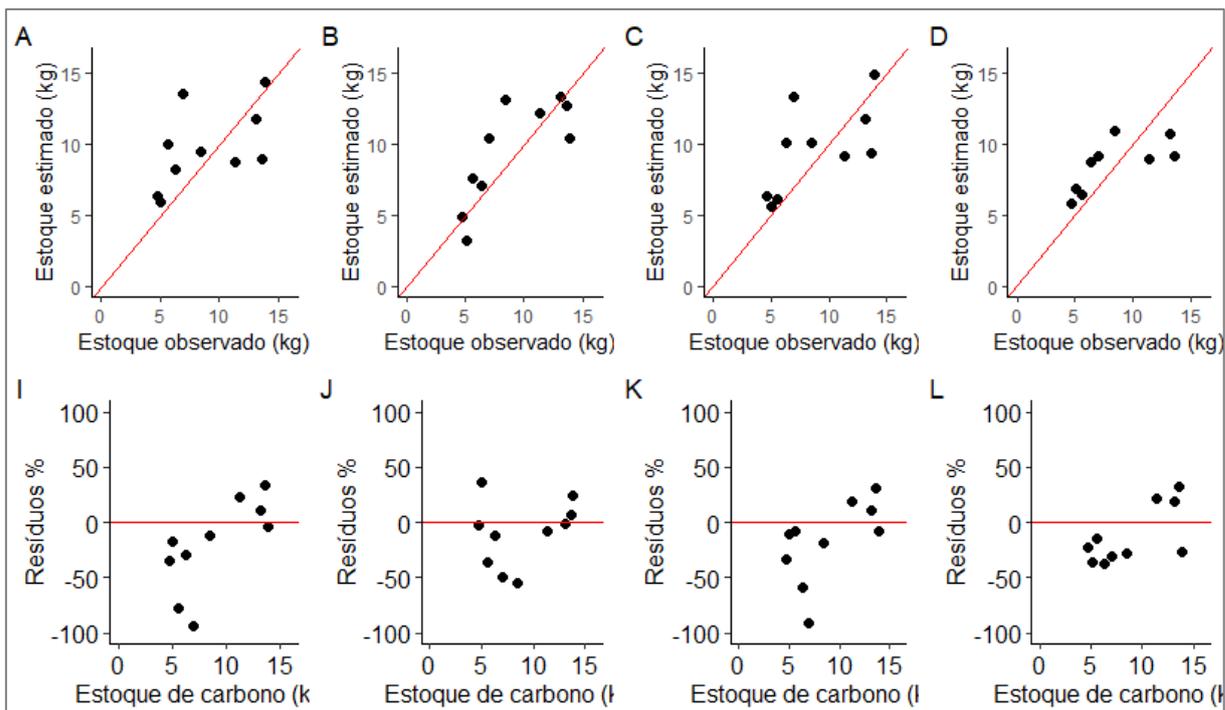


Figura 3 – Gráficos de Dispersão e Resíduos respectivamente para os modelos de Spurr (A e I), Parabólico (B e J), Naslund (C e K) e Stoate (D e L), considerando a combinação de dados de entrada A para área 1.

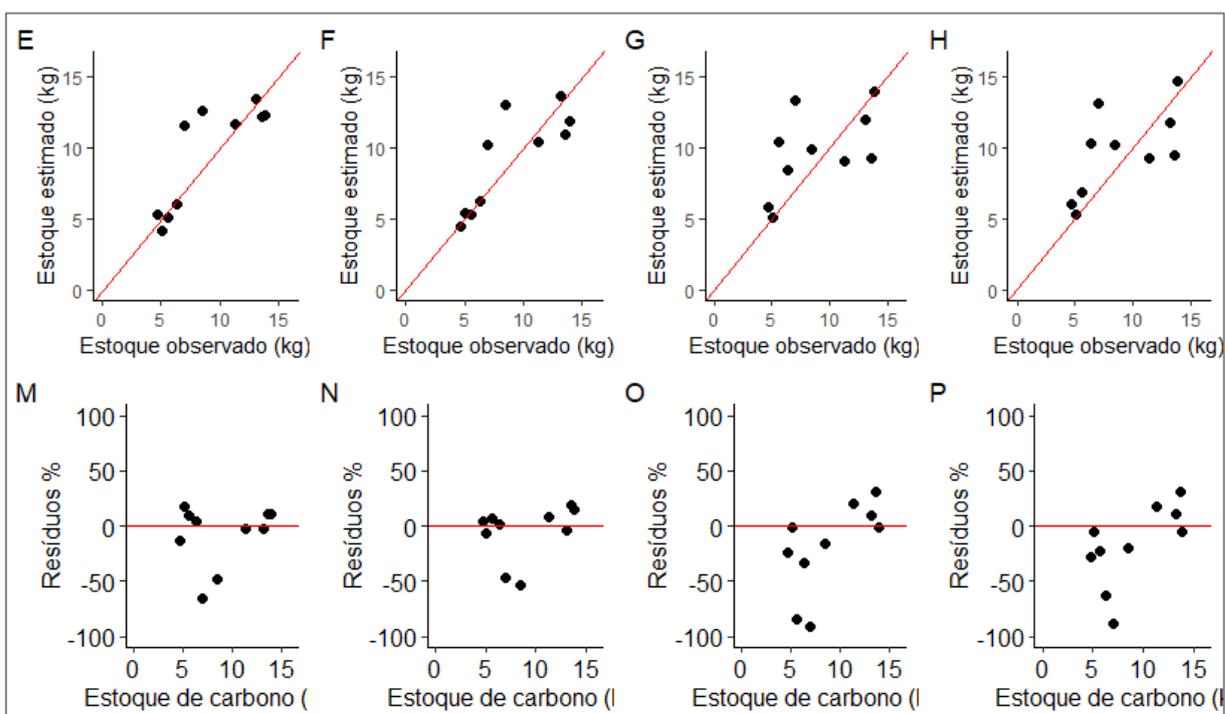


Figura 4 – Gráficos de Dispersão e Resíduos respectivamente para os modelos de Meyer Modificado (E e M), Meyer (F e N) Spurr Não-linear (G e O) e Schummacher Não-linear (H e P), considerando a combinação de dados de entrada A para área 1.

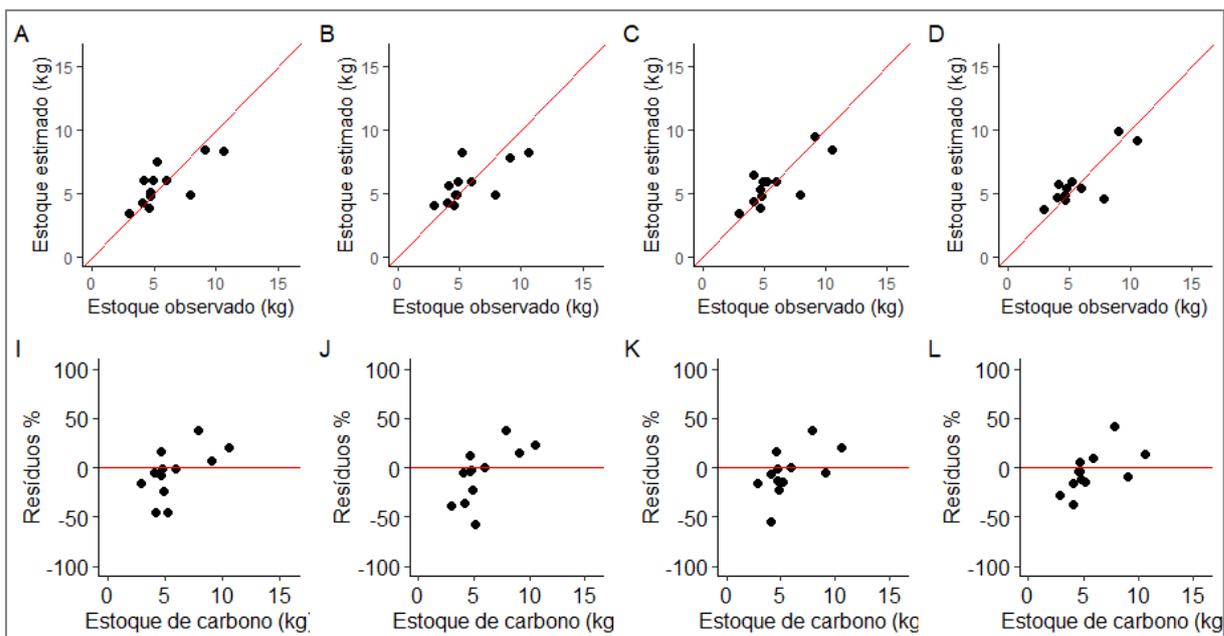


Figura 5 – Gráficos de Dispersão e Resíduos respectivamente para os modelos de Spurr (A e I), Parabólico (B e J), Naslund (C e K) e Stoate (D e L), considerando a combinação de dados de entrada A para área 2.

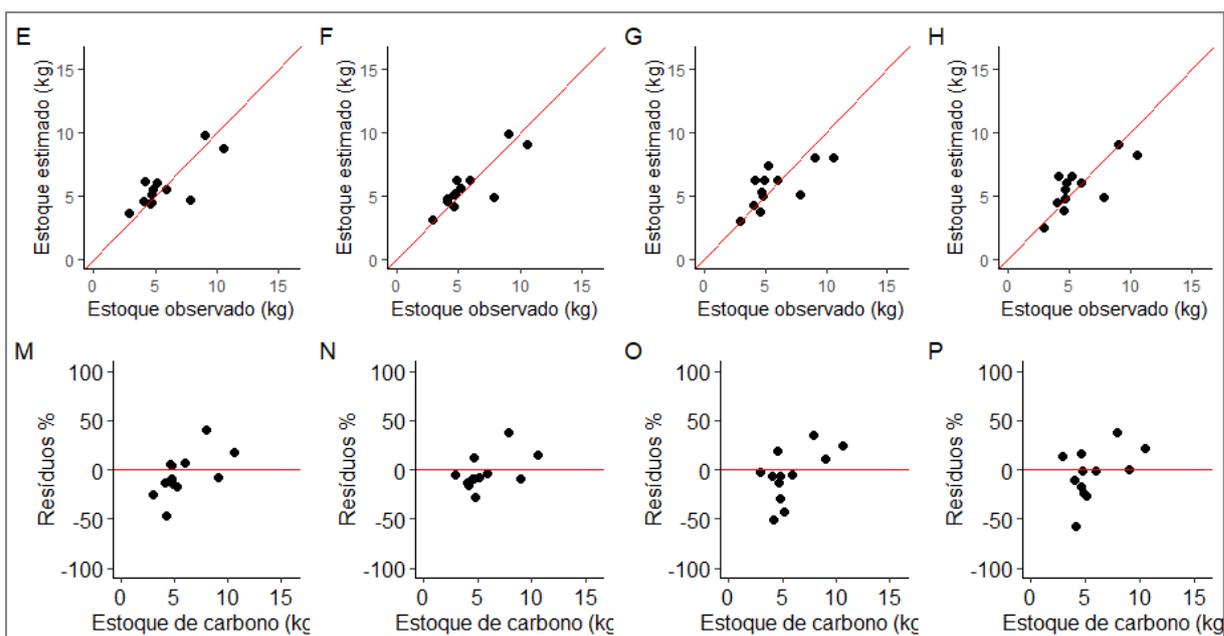


Figura 6 – Gráficos de Dispersão e Resíduos respectivamente para os modelos de Meyer Modificado (E e M), Meyer (F e N) Spurr Não-linear (G e O) e Schumacher Não-linear (H e P), considerando a combinação de dados de entrada A para área 2.

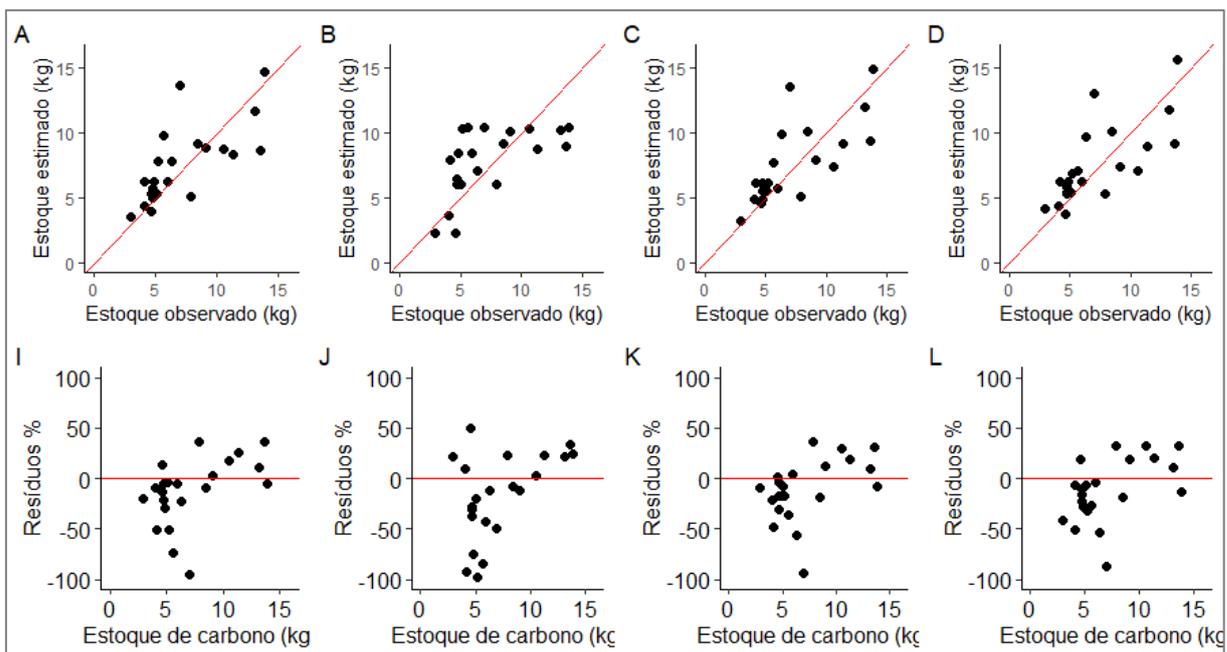


Figura 7 – Gráficos de Dispersão e Resíduos respectivamente para os modelos de Spurr (A e I), Parabólico (B e J), Naslund (C e K) e Stoate (D e L), considerando a combinação de dados de entrada A para área 12.

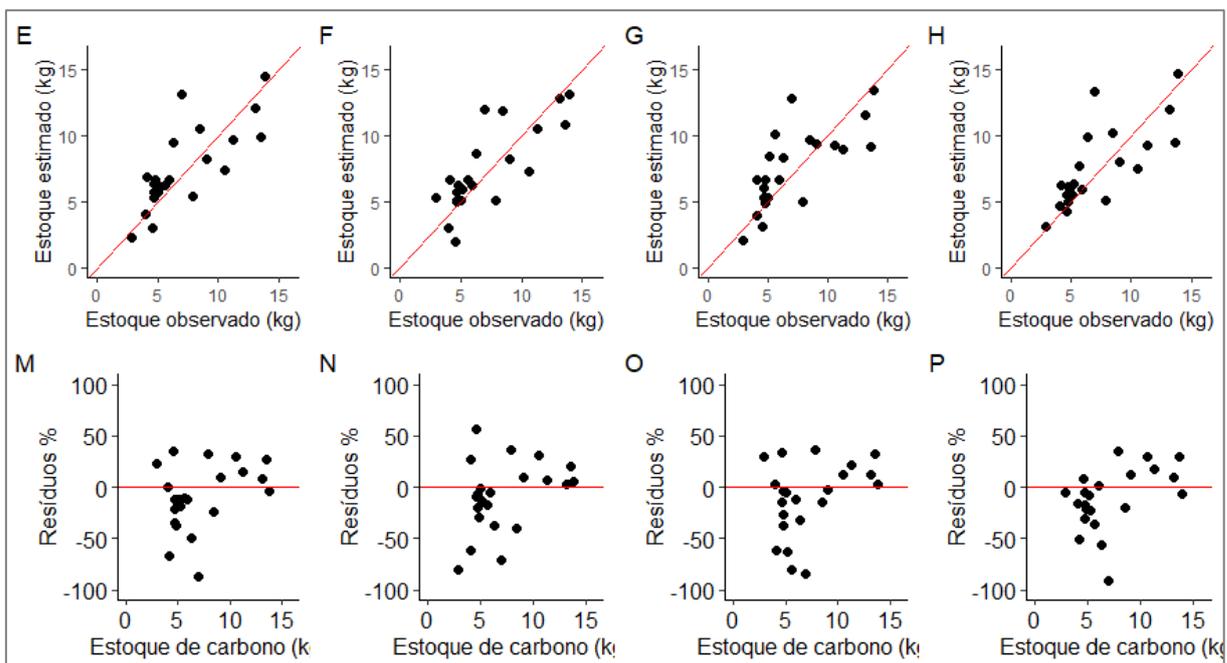


Figura 8 – Gráficos de Dispersão e Resíduos respectivamente para os modelos de Meyer Modificado (E e M), Meyer (F e N) Spurr Não-linear (G e O) e Schummacher Não-linear (H e P), considerando a combinação de dados de entrada A para área 12.

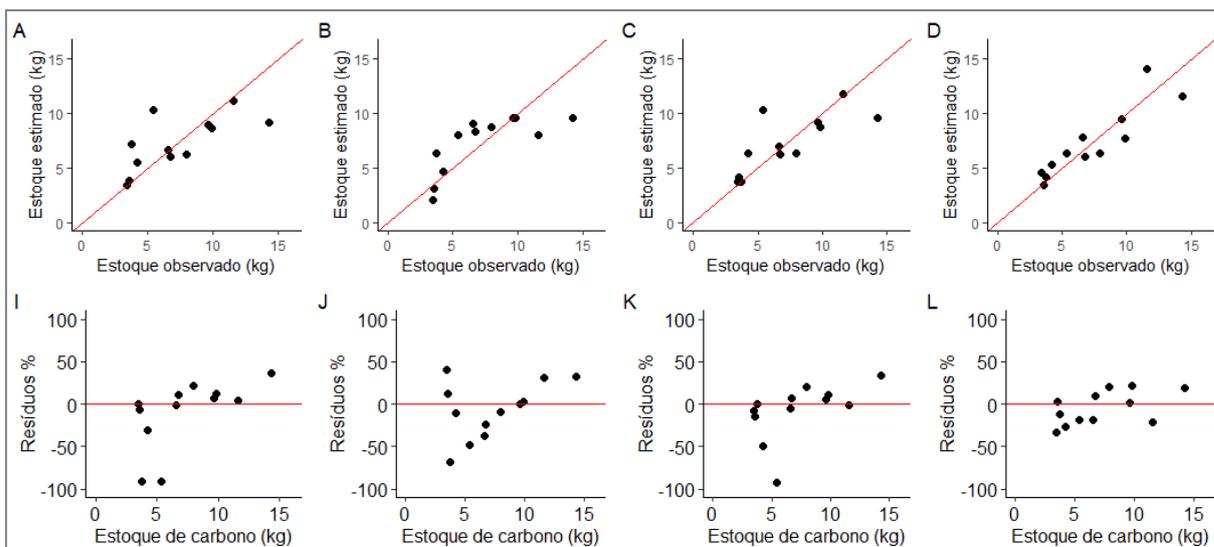


Figura 9 – Gráficos de Dispersão e Resíduos respetivamente para os modelos de Spurr (A e I), Parabólico (B e J), Naslund (C e K) e Stoate (D e L), considerando a combinação de dados de entrada C para área 1.

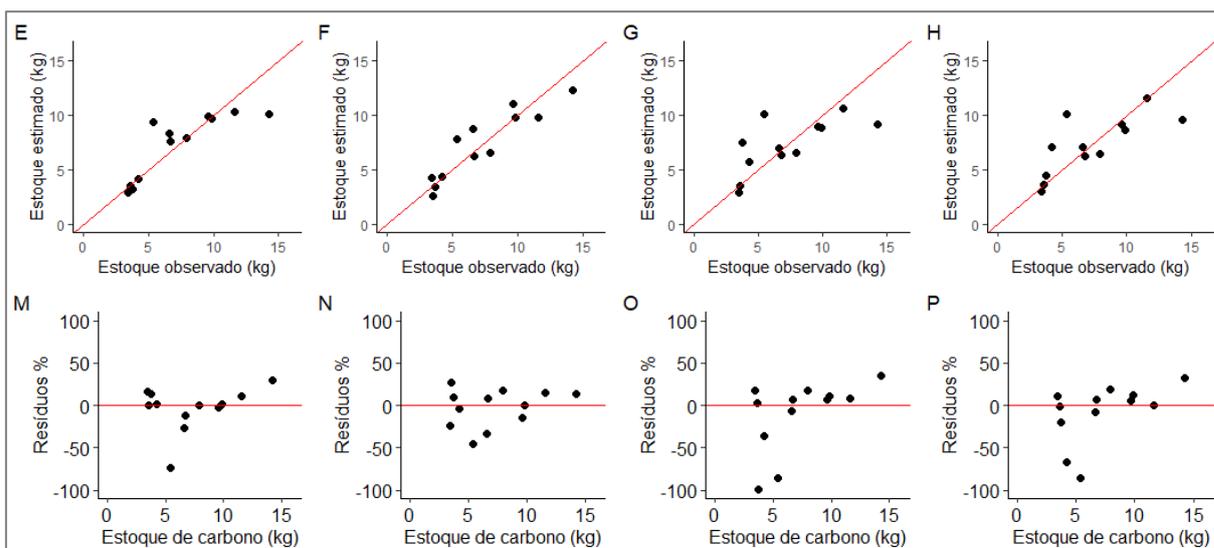


Figura 10 – Gráficos de Dispersão e Resíduos respetivamente para os modelos de Meyer Modificado (E e M), Meyer (F e N) Spurr Não-linear (G e O) e Schummacher Não-linear (H e P), considerando a combinação de dados de entrada C para área 1.

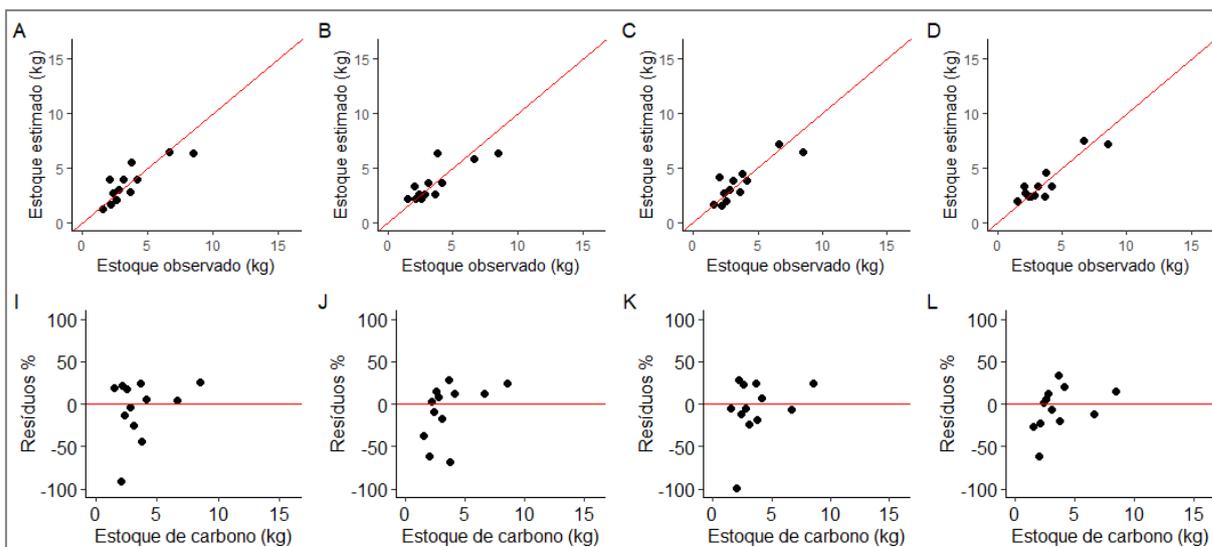


Figura 11 – Gráficos de Dispersão e Resíduos respectivamente para os modelos de Spurr (A e I), Parabólico (B e J), Naslund (C e K) e Stoate (D e L), considerando a combinação de dados de entrada C para área 2.

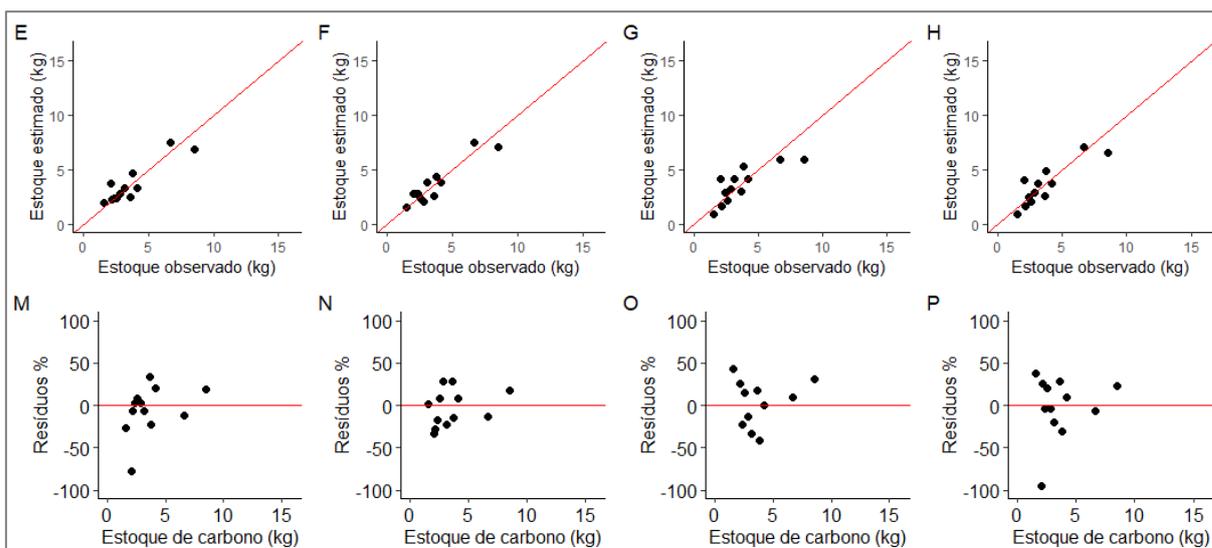


Figura 12 – Gráficos de Dispersão e Resíduos respectivamente para os modelos de Meyer Modificado (E e M), Meyer (F e N) Spurr Não-linear (G e O) e Schumacher Não-linear (H e P), considerando a combinação de dados de entrada C para área 2.

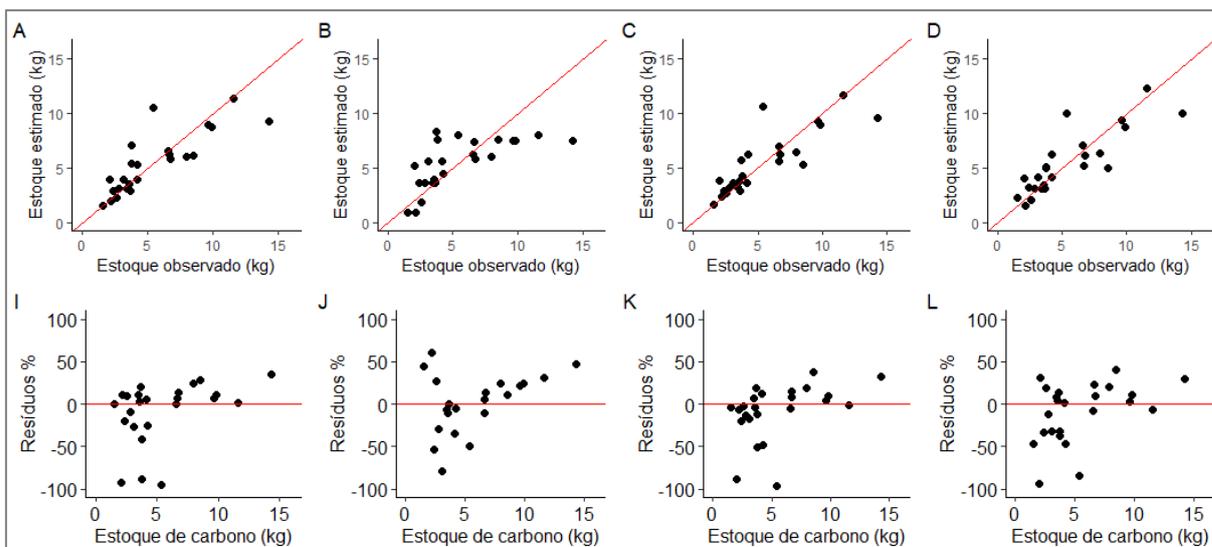


Figura 13 – Gráficos de Dispersão e Resíduos respectivamente para os modelos de Spurr (A e I), Parabólico (B e J), Naslund (C e K) e Stoate (D e L), considerando a combinação de dados de entrada C para área 12.

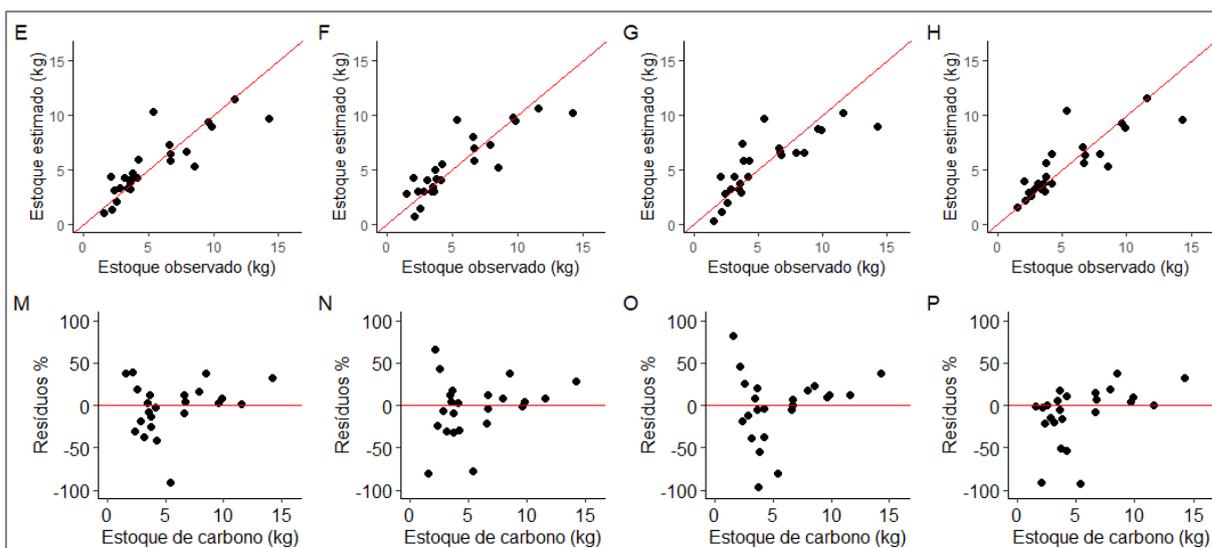


Figura 14 – Gráficos de Dispersão e Resíduos respectivamente para os modelos de Meyer Modificado (E e M), Meyer (F e N) Spurr Não-linear (G e O) e Schumacher Não-linear (H e P), considerando a combinação de dados de entrada C para área 12.