

CICLO DO CARBONO (C) E SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA: REVISÃO DE LITERATURA

Aline Marchiori Crespo¹; Maurício Novaes Souza²; Maria Amélia Bonfante da Silva³

Resumo – Nas últimas décadas, foram constatadas crescentes emissões de gases que provocam o efeito estufa, entre eles o gás carbônico (CO₂), devido especialmente ao emprego de combustíveis fósseis, ao desmatamento e às atividades agropecuárias, alterando o equilíbrio dos ecossistemas de forma acelerada e provocando mudanças climáticas globais. Os sistemas agroflorestais (SAF) apresentam-se como uma excelente alternativa de cultivo sustentável, e as vantagens oferecidas pela sua utilização são inúmeras, como o potencial de sequestro de carbono (C) tanto em sua biomassa, quanto no solo. O objetivo desta revisão de literatura é verificar se ocorreram avanços nas pesquisas em SAF na última década, de modo que seja demonstrado cientificamente o potencial desse sistema quanto ao sequestro de C, colaborando, portanto, para a diminuição do *input* de CO₂ na atmosfera. Os SAF, em geral, demonstraram alta capacidade de fixação de C, semelhante às matas nativas e maiores que pastagens e sistemas convencionais, sendo que SAF mais complexos, mais antigos e implantados a partir de matas nativas obtiveram melhores resultados. As pesquisas em SAF dos últimos dez anos foram direcionadas não só ao sequestro de CO₂, mas também de óxido nitroso (N₂O), outro gás ligado à agricultura e também importante causador de efeito estufa. A realização do manejo do sistema por meio da poda mostrou-se essencial para o aporte de C e nitrogênio (N) para o solo. Para o N foram obtidos os mesmos resultados que para o C, sendo pelo menos mantido e, na maioria das vezes, aumentando seus níveis nos solos dos SAF estudados.

Palavras-chaves: Efeito estufa. Ciclo do C. Sustentabilidade. Sistemas agroflorestais.

CARBON CYCLE AND AGROFORESTRY SYSTEMS IN THE SUSTAINABILITY OF AGRICULTURAL PRODUCTION: A LITERATURE REVIEW

Abstract – In recent decades, there has been an increase in greenhouse gas emissions, including carbon dioxide (CO₂), due in particular to the use of fossil fuels, deforestation, and agricultural activities, which have altered the balance of ecosystems at an accelerated rate and caused global climate change. Agroforestry systems (AFS) are an excellent alternative for sustainable cultivation, and the advantages offered by their use are numerous, such as the potential for carbon (C) sequestration both in their biomass and in the soil. This literature review aims to verify whether there have been any advances in AFS research in the last decade, so that the potential of this system for C sequestration can be scientifically demonstrated, thus helping to reduce CO₂ input into the atmosphere. In general, AFS have shown a high capacity to fix C, similar to native forests and greater than pastures and conventional systems, with more complex, older AFS planted from native forests obtaining better results. Research into AFS over the last ten years has focused not only on sequestering CO₂ but also on nitrous oxide (N₂O), another gas linked to agriculture and also an important cause of the greenhouse effect. Managing the system through pruning has proved to be essential for adding C and N to the soil. The same results were obtained for N as for C, with levels in the SAF soils studied at least remaining the same, and most of the time increasing.

Keywords: Greenhouse effect. Carbon cycle. Sustainability. Agroforestry systems.

¹M.Sc. Agroecologia, Agente de extensão em desenvolvimento rural Incaper, aline.crespo@incaper.es.gov.br

²D.Sc. Engenharia de água e solo, Professor titular Ifes Campus de Alegre

³M.Sc. Agroecologia, Professora livre docência, Vitória-ES

INTRODUÇÃO

Tem sido constatado ao longo dessas últimas décadas crescentes emissões e incremento nas concentrações atmosféricas de gases poluentes, entre eles o gás carbônico (CO₂), devido especialmente ao emprego de combustíveis fósseis, ao desmatamento e às atividades agropecuárias, alterando o equilíbrio dos ecossistemas de forma acelerada e provocando mudanças climáticas globais por intermédio do aumento do efeito estufa e o consequente aquecimento global (Martins *et al.*, 2022).

Estima-se que, em geral, o solo contenha aproximadamente 2344 Gt (1 giga tonelada = 1 bilhão de toneladas) de C orgânico, o que significa de três a quatro vezes a quantidade de C existente na atmosfera, em forma de CO₂. Esse C orgânico está armazenado quase que em sua totalidade na matéria orgânica do solo (MOS), sendo que pequenas mudanças nesse estoque, principalmente causadas por fatores ambientais e antropogênicos, podem resultar em impactos significativos na concentração do CO₂ (Stockmann *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2022).

Os solos sob florestas naturais possuem atributos físicos, químicos e biológicos ideais para o desenvolvimento das plantas e armazenamento de C; no entanto, modificações antrópicas no uso da terra podem alterar esses atributos, interferindo na dinâmica da MOS, a qual pode sofrer um processo de oxidação, liberando CO₂ para a atmosfera (Rangel; Silva, 2007; Guimarães *et al.*, 2012; Barros, 2013; Souza, 2018).

A importância do conhecimento da MOS, bem como sua relação com o manejo e uso do solo, visa desenvolver estratégias para a utilização sustentável dos solos, a fim de reduzir o impacto das atividades agropecuárias sobre o meio ambiente.

Nesse contexto, práticas sustentáveis de manejo têm recebido grande destaque nos anos recentes, pois se sabe que o teor de matéria orgânica (MO) é influenciado pelo sistema de cultivo empregado ao solo. A incorporação natural de MO no solo, proveniente de resíduos gerados no próprio empreendimento, e o não revolvimento do solo incrementam o conteúdo de C no solo, auxiliam na retenção de umidade, dificultam o processo de erosão, fornecem macro e micronutrientes às plantas e diminuem

o input de CO₂ na atmosfera (Loss *et al.*, 2011; Matias *et al.*, 2012; Dores-Silva *et al.*, 2013).

Segundo Veiga (2009), o desenvolvimento sustentável é aquele que garante a manutenção em longo prazo dos recursos naturais e da produtividade agrícola; o mínimo de impactos adversos aos produtores; o retorno econômico adequado aos produtores; a otimização da produção com o mínimo de insumos externos, reduzindo os riscos de poluição e aumentando a entropia no sistema; a satisfação das necessidades sociais das famílias e das comunidades rurais; e a satisfação das necessidades humanas de alimentos e renda.

Os SAF, portanto, apresentam-se como uma excelente alternativa de cultivo sustentável, pois além de imitar padrões ecológicos naturais, permitem também otimizar a produção por unidade de superfície, respeitando sempre o princípio de rendimento contínuo, principalmente por meio da manutenção e recirculação do potencial produtivo dos recursos naturais renováveis (Martins *et al.*, 2022).

Seu desenho na propriedade combina o cultivo de espécies florestais, nativas ou exóticas, com espécies agrícolas e/ou criação de animais numa mesma área. Como exemplo, pode-se citar a utilização de palmeiras (açaí, bacaba, pupunha, babaçu e dendê), café (conilon e arábica), castanha-do-brasil, várias frutíferas (cupuaçu, acerola, guaraná e banana) e também diferentes espécies arbóreas e arbustivas para exploração madeireira e para uso múltiplo (Siqueira *et al.*, 2022).

As vantagens oferecidas pela utilização dos SAF são inúmeras, como o sequestro de C por intermédio do processo fotossintético auxiliando na diminuição do aquecimento global; redução da intensidade dos fenômenos erosivos, pelo efetivo recobrimento do solo; contribuição no processo de regularização da vazão dos mananciais hídricos; diminuição da pressão sobre os remanescentes da vegetação nativa, influenciando positivamente no microclima; garantia de uma maior estabilidade ecológica das áreas de regeneração natural, área de preservação permanente (APP) e área de reserva legal (ARL). Como consequência, há aumento da biodiversidade, estimulando os mecanismos de controle biológico; fornecimento de abrigo, refúgio e alimento para a fauna silvestre; contribuição ao processo

global de aprimoramento científico e tecnológico, pela geração de novas técnicas na parte agroflorestal do empreendimento; melhor aproveitamento do solo em nutrientes e em luminosidade, aumentando a capacidade produtiva do sítio e a ciclagem de nutrientes eficientes para a recuperação de áreas degradadas (Souza, 2018).

Todavia, também existem fatores limitantes nesse sistema que devem ser considerados e manejados. Pode ocorrer competição entre as árvores e/ou culturas por luz, nutrientes e água; também há possibilidade de efeitos negativos das espécies introduzidas sobre aquelas de maior interesse (alelopatia); e, caso não seja feito um manejo eficiente, pode ocorrer uma excessiva exportação de nutrientes pelas colheitas agrícolas ou florestais (Siqueira *et al.*, 2022).

OBJETIVO

O objetivo desta revisão é verificar se ocorreram avanços nas pesquisas em SAF na última década, de modo que seja demonstrado cientificamente o potencial desse sistema no que se refere ao armazenamento e ao sequestro de C, tanto no solo, quanto em sua biomassa, de forma que haja diminuição do *input* de CO₂ na atmosfera terrestre.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizado o método de pesquisa qualitativo exploratório por intermédio de buscas de textos científicos no site “Google acadêmico”, de forma que a caixa de pesquisa “período específico” foi preenchida de dois em dois anos, a fim de encontrar trabalhos publicados a partir de 2012 até de 2022, buscando selecionar de quatro a cinco publicações relacionadas aos temas SAF e sequestro de C. Do total de resultados retornados, o limite de pesquisa até a página cinco foi suficiente para se chegar ao objetivo proposto, uma vez que após essa página os trabalhos mostrados tendiam a estar repetidos. As palavras-chaves utilizadas para todas as pesquisas foram “Sistema Agroflorestal” e “Sequestro de C”. No período de 2012 a 2013, a pesquisa retornou 525 resultados; de 2014 a 2015, foram 538; de 2016 a 2017, foram 533; de 2018 a 2019, foram 612; e, finalmen-

te, de 2020 a 2021 e parte de 2022, foram retornados 619 resultados.

REVISÃO DE LITERATURA

A implantação de SAF tem potencial de sequestro de C e N. A sua biomassa pode prestar o serviço ambiental do sequestro de C, enquanto no solo podem ser sequestrados C e também N. Além disso, os SAF servem de fonte de renda sustentável para os agricultores familiares (Cardoso *et al.*, 2015; Mendonça *et al.*, 2018).

Embora o total de C armazenado no solo seja proporcionalmente muito maior que o encontrado na biomassa aérea e de raízes, a quantidade de C de árvores é sempre muito maior que a encontrada em culturas agrícolas, evidenciando que a implantação de SAF contribui muito para o aumento da armazenagem de C. No entanto, a quantificação do C da biomassa está sujeita a diferentes critérios e metodologias, bem como ao estágio de desenvolvimento dos sistemas. No caso dos SAF, essa quantificação depende da idade, da espécie, do espaçamento de plantio e do regime de manejo adotado (Cardoso *et al.*, 2015).

Entre os trabalhos revisados, foi encontrado um panorama geral de cinco diferentes temas dentro dos quais as pesquisas em SAF estão distribuídas: Determinação do estoque de C no solo; Determinação do estoque de C na biomassa; Determinação do estoque de C no solo e na biomassa; Determinação de C e N no solo; e Efluxo de GEE do solo e da biomassa.

DETERMINAÇÃO DO ESTOQUE DE C NO SOLO

Cogo *et al.* (2012) realizaram estudo com o objetivo de avaliar a densidade do solo (Ds) e os teores e estoques de C orgânico no solo em cafeeiros nos sistemas de manejo convencional e agroflorestal, e em uma mata nativa, no Sul de Minas Gerais, Município de Machado.

A lavoura de café em sistema agroflorestal foi implantada em 1985, com a variedade Mundo Novo, no espaçamento de 3,5 m x 1 m e, em 1998, foi adotado o modelo de produção natural orgânico em sistema agroflorestal consorciado com frutíferas e árvores nativas. Bananeiras e eucaliptos cultivados ao redor dos talhões de café servem como quebra-vento. As árvores nativas,

frutíferas e plantas anuais se apresentam espalhadas irregularmente entre as linhas dos cafeeiros. Desde 1997, a fertilização do solo e a nutrição do cafeeiro são resultantes da aplicação dos resíduos orgânicos e vegetais, tais como palha de café e a serapilheira originada do próprio sistema.

Foram coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas, nas posições de projeção da copa e entrelinha dos cafeeiros e de forma aleatória na mata nativa, na profundidade de 0–20 cm. O resultado obtido demonstrou que o cafeeiro manejado sob sistema agroflorestal apresentou maior teor de C orgânico no solo na projeção da copa e maior estoque de C orgânico no solo quando comparado ao sistema de manejo convencional, o que pode ser explicado pelo fato de que o manejo agroflorestal produz maior quantidade de resíduos orgânicos oriundos das árvores e do próprio sistema em si.

Stöcker *et al.* (2018) avaliaram os estoques de C no solo, bem como as Ds em um Argissolo conduzido sob SAF agroecológico, mata nativa e pomar de *Campomanesia xanthocarpa*, localizados na Embrapa, Pelotas-RS.

O SAF estava implantado há três anos e possuía nove linhas equidistantes, com 5 m de espaçamento, sendo cinco linhas formadas com pecaneiras (nogueira-pecã), espécies arbóreas produtoras de biomassa (*Trema micranta* e *Enterolobium contortisiliquum*) e de interesse madeireiro (*Hovenia dulcis*; *Peltophorum dubium*; *Cedrella fissilis*; *Citharexylum montevidense*; *Hexachlamy sedulis*) de forma que, no intervalo de 10 m entre as pecaneiras foram implantadas tangerineiras e caquizeiros, intercalados a cada 5 m. As outras quatro linhas foram intercaladas com as descritas acima, sendo formadas por laranjeiras na posição das pecaneiras, formando-se intervalos de 10 m.

No intervalo entre as laranjeiras, foram plantados caquizeiros e tangerineiras, alternadamente, ao longo da linha. No centro das entrelinhas, foram implantadas duas espécies perenes (*Tithonia diversifolia* e *Penisetum purpureum*) com o propósito de produção de biomassa para restauração da fertilidade natural do solo. A área restante das entrelinhas tem sido cultivada com espécies de interesse econômico (milho, feijão, amendoim e abóboras), adubos verdes de verão e adubos verdes de inverno, de acordo com a estação. Nesses três anos,

toda a biomassa tem sido movimentada para as linhas das árvores.

Para a realização do experimento, amostras de solo foram coletadas nas linhas e entrelinhas dos três diferentes tratamentos, sendo que os estoques de C no solo foram calculados considerando a densidade do solo, o teor de C e a espessura de cada camada amostrada.

Os resultados observados mostraram que o SAF acumulou quantidades de C semelhantes ao solo sob vegetação natural até 0,2 m, o que contribuiu significativamente para a fixação de C e redução da densidade do solo na entrelinha, favorecendo, assim, a sustentabilidade ambiental.

Linhares *et al.* (2021) reforçam em seu trabalho que o SAF é estratégico na mitigação das emissões de CO₂ causadas pela mudança no uso e cobertura da terra. Nesse contexto, os autores realizaram estudo que teve por finalidade quantificar os estoques de C orgânico do solo em diferentes classes e profundidades de solo em floresta primária e SAF na colônia agrícola do ramal do 12, Município de Lábrea-AM. Para isso, foram usados quatro métodos: elaboração de mapa temático e imagem digital; amostragem; análise físico-química; e estatística de solo.

Os resultados da pesquisa mostraram que os teores de C orgânico usados na quantificação dos estoques de C no solo, em diferentes usos e coberturas da terra, classes e profundidades de solo, indicaram que os Argissolos Vermelhos sob SAF, implantados há mais de dez anos, apresentaram elevada capacidade para estocar C orgânico, semelhante aos Argissolos Vermelho-Amarelos sob floresta primária. Ou seja, expressa com muita clareza a capacidade que os SAF têm de promover a recuperação em médio e longo prazo da qualidade do solo, assim como de estocar C, fortalecendo, dessa maneira, a hipótese de que os SAF são tecnologias de produção agrícola com potencial para mitigar as emissões de CO₂ e, ao mesmo tempo, produzir alimentos e matéria-prima de origem vegetal de forma sustentável.

Iwata *et al.* (2021) avaliaram a variação dos teores de C orgânico total e particulado, estratificação vertical do C e índice de sensibilidade das frações da matéria orgânica em solos com resíduos orgânicos dispostos em alamedas em

SAF com e sem uso de fogo, em bioma Caatinga, Município de Bela Cruz-CE.

O SAF foi implantado em 2007, em uma área de aproximadamente um hectare, após o corte seletivo da vegetação arbustivo-arbórea, preservando duzentas árvores nativas por hectare. A área foi dividida em duas parcelas de 0,5 ha, uma submetida a fogo controlado e a outra mantida com restos de podas agrupados linearmente em pilhas de largura de 0,5 m, perpendiculares ao declive da área e espaçadas de 3 m.

Foi utilizado um modelo de cultivo em aleia, que consistiu em duas fileiras de *Gliricidia sepium* (Jacq.) com espaçamento de 0,5 m entre as linhas e 0,5 m entre as plantas. Essa leguminosa *sepium* foi utilizada como adubo verde, cajueiros (*Anacardium occidentale* L.) como cultura permanente e milho (*Zea mays* L.) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) como culturas anuais.

O experimento foi conduzido em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições, em que o fator fogo esteve presente nas parcelas e o fator resíduos orgânicos nas subparcelas. Os resíduos orgânicos utilizados consistiram em plantas de *Gliricidia sepium*; *G. sepium* e resíduo do processamento de carnaúba; *G. sepium* e bio-composto; e *G. sepium*, resíduo de processamento de carnaúba e biocomposto, que foram avaliados em três camadas de solo.

Como resultados, os autores constataram que as vielas com resíduo do processamento de carnaúba, plantas de *G. sepium* e biocomposto apresentaram melhor manutenção dos teores de C orgânico particulado e mineral associado.

Dessa maneira, pode-se inferir que o manejo agroflorestal em vielas utilizando esses três resíduos foi eficiente para a manutenção de compartimentos de matéria orgânica lábil e recalcitrante. Todavia, o C orgânico particulado foi mais sensível às mudanças no manejo do solo do que o conteúdo de matéria orgânica total, em todas as alamedas, apresentando maiores índices de sensibilidade.

Rufino *et al.* (2022), com objetivo de quantificar o estoque de C do solo em diferentes profundidades, sob diferentes agroecossistemas e área de vegetação secundária, desenvolveram uma pesquisa no Município de Remígio-PB. Para tal, foram selecionadas quatro

áreas, caracterizadas de acordo com o sistema de cultivo em: sistema convencional, pastagem, SAF e área com vegetação secundária.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial [(3x3)+1], contendo os seguintes fatores: sistema de cultivo (convencional, pastagem sistema agroflorestal), profundidade (0-20; 20-40 e 40-60 cm) e um tratamento adicional correspondente à vegetação secundária. O SAF já estava estabelecido há cerca de dez anos e era composto por espécies agrícolas anuais, frutíferas e arbóreas como *Citrus sinensis* L. Osbeck (laranja), *Mangifera indica* (manga), *Artocarpus heterophyllus* (jaca), *Persea americana* (abacate), *Musa* (banana). As práticas de manejo adotadas foram poda, adubação verde, capinas, roços manuais e adubação com esterco bovino.

Como resultados, os autores da pesquisa evidenciaram que o estoque de C total no solo é maior no SAF, porém diminui na pastagem, com concentração ainda inferior no cultivo convencional. Também comprovaram que os teores de C variam conforme a profundidade e as amostras de solo coletadas na superfície (0-20 cm), havendo aumento no estoque em profundidades de 20 cm a 40 cm e de 40 cm a 60 cm, devido ao incremento de matéria orgânica nessa camada, o que independe do ambiente estudado.

DETERMINAÇÃO DO ESTOQUE DE C NA BIOMASSA

Silva (2014), a fim de estimar o estoque de biomassa aérea, C fixado e o sequestro de CO₂ em diferentes SAF na Amazônia mato-grossense, bem como a estrutura diamétrica de tais ambientes, selecionou três ambientes florestais distintos: reflorestamento; sistema agroflorestal; e fragmento florestal primário.

O SAF possuía uma área de 30 m x 80 m com 15 anos de implantação. A cultura principal era o cacau (*Theobroma cacao* L.) no espaçamento 3 m x 4 m, sendo consorciada com outras espécies florestais distribuídas aleatoriamente.

A biomassa total aérea de cada ambiente foi estimada para a quantificação do estoque de C e estimativa do sequestro de CO₂. Observou-se então que o fragmento florestal apresentou os maiores valores de biomassa aérea, C e sequestro de CO₂, seguido do sistema agroflo-

restal e do reflorestamento. Tais variabilidades encontradas nos resultados podem ser atribuídas à morfologia e fisiologia de seus componentes vegetais, mas de forma geral todos os ambientes se mostraram importantes na retenção do C contribuindo, dessa maneira, para a fixação de CO₂ nos ecossistemas florestais.

Oliveira (2013) teve por objetivo, em sua pesquisa, conhecer a biomassa do componente arbóreo de um sistema agroflorestal de cultivo do cupuaçu na Zona da Mata Rondoniense, instalado a cerca de 25 anos em uma área anteriormente destinada ao cultivo de café. Para isso, foi estimada a biomassa e a quantidade de C presente no componente arbóreo e de palmeiras pelo método indireto.

Como resultados, o sistema apresentou o acúmulo de 90,13 Mg C. ha⁻¹, demonstrando uma alta capacidade de produção de biomassa. Porém, como o sistema não é manejado com podas periódicas, cerca de 90% dessa biomassa está contida no estrato superior, evidenciando ser necessário realizar o manejo das árvores, com poda ou raleamento de indivíduos para que a biomassa fixada possa tanto ser parcialmente estocada no solo quanto aumentar a biomassa acumulada no estrato inferior.

Torres (2015), entre outros estudos, descreve em sua tese a avaliação da contribuição de dois SAF na redução da concentração de GEE na atmosfera. Trata-se de um sistema agrossilvipastoril e outro silvipastoril, os quais foram implantados em dezembro de 2008 em Viçosa-MG, sendo que o primeiro sistema é composto por Eucalipto + Feijão + Braquiária e o segundo somente por Eucalipto + Braquiária.

O componente florestal foi plantado no espaçamento de 8 m entre as linhas e 3 m entre as plantas. Nas unidades, empregou-se o método indireto para quantificação da biomassa do componente florestal. Para a pastagem, a biomassa foi estimada pelo método direto.

As emissões de GEE foram oriundas das atividades agrícolas (adubação nitrogenada) e pecuária (fermentação entérica e manejo de dejetos), e foram estimadas com base nas Diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC) para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa.

O sistema agrossilvipastoril apresentou maior remoção (49,99 Mg CO₂.ha⁻¹) em relação ao sistema silvipastoril

(42 Mg CO₂.ha⁻¹). O componente bovino foi o que apresentou maior emissão de GEE (3,49 Mg CO₂.ha⁻¹), quando comparado ao eucalipto, ao feijão e à braquiária.

Os sistemas apresentaram um excedente de árvores quando se pensa em neutralização: seriam necessárias, em média, 50 árvores.ha⁻¹ e havia em torno de 351 árvores.ha⁻¹.

Dessa forma, concluiu-se que os SAF contribuem para mitigação dos gases de efeito estufa na atmosfera, desempenhando um importante papel para o alcance das metas de redução de emissões de GEE estabelecidas pelo governo brasileiro. Além disso, permitem o desenvolvimento da agropecuária mais sustentável no país.

A quantificação do estoque de C na parte aérea de arbustos e árvores em SAF biodiversos foi o objetivo da pesquisa de Padovan *et al.* (2017), a qual foi conduzida em Amambai-MS, num ecótono de transição entre Cerrado e Mata Atlântica.

Foram avaliados quatro SAF biodiversos, com diferentes desenhos, arranjos e idades de implantação, os quais são compostos por espécies vegetais de usos múltiplos (exóticas e nativas) e, conforme a predominância da espécie, tem-se: SAF Bananal, implantado em 2008; SAF Pomar e SAF Erval, implantados em 1996; e SAF Macaubal, implantado em 1997, bem como uma testemunha representada pela vegetação nativa (MT), adjacente aos SAF.

Para estimar o estoque de C, foi medida a circunferência de arbustos e árvores à altura do peito (1,3 m de altura), e estimada a sua altura total (Ht). Esses dados foram utilizados para os cálculos adotando-se equação alométrica.

A conclusão do trabalho foi que o estoque de C nos SAF e na área de vegetação nativa adjacente foram semelhantes, e as espécies arbóreas com maior potencial de estocar C na biomassa aérea, e que inclusive podem ser recomendadas para a instalação de novos SAF, nas mesmas condições ambientais desse trabalho, foram: *Enterolobium contortisiliquum*, *Ceiba speciosa*, *Cecropia pachystachya*, *Peltophorum dubium* e *Acrocomia aculeata*.

Brachtvogel *et al.* (2018) buscaram quantificar o estoque de C na biomassa vegetal em quatro arranjos de SAF, de dois anos de idade, implantados no Município de Ivinhema-MS. O primeiro arranjo possui três linhas de arbóreas com distanciamento de 10 m entre as linhas,

tendo, nesse espaço, duas linhas de café arábica 'IAPAR 49', com uma linha de bananeira no centro. O segundo arranjo é composto por três linhas de café intercaladas com linhas de arbóreas, sendo que as bananeiras são cultivadas entre espécies arbóreas. O terceiro arranjo é composto por mandioca entre espécies arbóreas, e abacaxi, pimenta-cumari e mamão nas entrelinhas. No quarto arranjo a banana é cultivada entre arbóreas e, nos espaços de 2,5 m entre as linhas, foram implantadas linhas de pimenta-cumari, mandioca e mamão.

Foram estabelecidas parcelas em cada arranjo, que correspondem às linhas das espécies arbóreas. Na avaliação, obteve-se o diâmetro na altura do solo e a altura de todos os indivíduos.

Para obter os valores de C na biomassa, aplicou-se a equação alométrica proposta por Higuchi *et al.* (1998), obtendo-se o valor do peso fresco em kg árvore⁻¹. Após a utilização da equação, adotou-se o fator de conversão para estimar o valor de C. Os resultados mostraram que, de acordo com o levantamento florístico, foram inventariados 393 indivíduos, distribuídos em 16 famílias, pertencentes a 38 espécies.

O C estocado nos arranjos 2 e 4 foram superiores aos demais, devido, segundo os autores, às espécies e densidades das árvores presentes na área, o que evidencia que a adoção de determinados arranjos de SAF pelos agricultores contribuirá para uma maior estocagem de C na biomassa das plantas, reduzindo a emissão de CO₂ para a atmosfera. No total, os quatro arranjos juntos apresentaram um estoque considerável de C estocado (2,11 toneladas), levando em conta tratar-se de SAF novos, implantados há apenas dois anos.

Arancibia *et al.* (2020) avaliaram em sua pesquisa o papel ecológico de um SAF sucessional em sua capacidade de sequestrar C na região Sudoeste paranaense, Município de Dois Vizinhos.

Considerando-se a estratificação vertical de uma floresta natural como ponto de partida para elaboração do módulo (croqui), o SAF foi implantado onde antigamente havia cultivo de rami (*Boehmeria nivea*), consistindo em oito linhas com 4 m de distância entre elas, contendo uma espécie madeireira protagonista, quatro frutíferas, quatro espécies madeiras, culturas agrícolas anuais, adubos

verdes e olerícolas. Essa disposição foi repetida seis vezes até ocupar toda a área disponível.

A avaliação foi realizada por censo nos tempos 0, 4, 5 e 8 anos após a implantação. A medição utilizada para a avaliação de rendimento de madeira foi realizada pela circunferência de colo (C30), com auxílio de fita métrica topográfica, separadamente para grupo de espécies dentro da classificação sucessional: pioneiras, secundárias iniciais e tardias e espécies clímax.

Os resultados demonstram maiores rendimentos em relação à circunferência de colo em espécies sucessionais secundárias iniciais em relação às outras classes avaliadas no SAF. Evidenciam que para que se tenha um maior incremento de sequestro de C em SAF com características semelhantes, as espécies secundárias iniciais devem ser priorizadas, devido a sua melhor adaptação às condições edafoclimáticas promovidas pela região e alteradas, em escala local, pelo próprio desenvolvimento do SAF.

Esses mesmos autores, utilizando o mesmo SAF, no mesmo município, também realizaram outra pesquisa, em 2021, dessa vez com objetivo de quantificarem o C estocado acima do solo pelo componente arbóreo do SAF, com oito anos de idade, identificando as espécies e os grupos ecológicos que se destacam para estocar esse C.

O censo levantou a presença de 7.350 indivíduos.ha⁻¹ no SAF com altura total $\geq 1,30$ m, divididos em 49 espécies e pertencentes a 26 famílias botânicas, os quais foram objeto de análise fitossociológica, com destaque à *Musa paradisiaca* L. com 4.956 exemplares. Primeiro foi calculada a biomassa seca do fuste de cada indivíduo. Depois aplicaram-se equações alométricas específicas para *Mimosa scabrella* Benth., *Euterpe edulis* Mart., *Schinus terebinthifolius* Raddi., *Araucaria anfastifolia* (Bertol.) Kuntze, *Musa paradisiaca* L; e equações alométricas genéricas regionais e pantropicais para todo o conjunto de dados, comparando-os com o valor de biomassa seca do fuste encontrado, os quais foram convertidos em C estocado.

As espécies que se sobressaíram foram *Solanum mauritanum* Scop. (2,6 Mg C ha⁻¹), *Persea americana* Mill. (1,96 Mg C ha⁻¹), *Musa paradisiaca* L. (1,31 Mg C ha⁻¹) e *Carya illinoensis* (Wang.) K. (1,11 Mg C ha⁻¹).

Do total de 15,35 Mg C ha⁻¹ estocados no SAF, o grupo de sucessão ecológica das espécies pioneiras foi responsável por 7,44 Mg C ha⁻¹, seguido pelo grupo das secundárias iniciais com 4,17 Mg C ha⁻¹ e pelo grupo das secundárias tardias com 3,15 Mg C ha⁻¹. O grupo das climácicas foi responsável por estocar apenas 0,39 Mg C ha⁻¹.

Das equações alométricas utilizadas nesse trabalho, as genéricas regionais de Vismara (2013) e Gusson (2014) e as pantropicais de Chave *et al.* (2005; 2014), foram as que apresentaram resultados mais condizentes com o valor da biomassa seca do fuste, sendo recomendadas para estimativas em SAF com desenhos semelhantes ao desse estudo (Arancibia, 2021).

DETERMINAÇÃO DO ESTOQUE DE C NO SOLO E NA BIOMASSA (C TOTAL)

Oliveira (2013) discorre em sua dissertação que no Município de Araponga – Zona da Mata de Minas Gerais, SAF de café (*Coffea arabica*) com plantas nativas foram implantados há 20 anos, em caráter de experimentação participativa, com objetivo de reverter a degradação observada nos agroecossistemas. Seu estudo objetivou aprofundar essas pesquisas tanto no que diz respeito ao desenho e função das espécies encontradas nos SAF quanto ao potencial de estoque de C desses agroecossistemas.

No que se refere ao sequestro de C, o estoque de C total calculado somente para a biomassa aérea, arbórea e arbustiva dos SAF foi de 25,5 Mg.ha⁻¹. Já o estoque de C total, considerando também outros compartimentos do sistema (vegetação espontânea, serapilheira, raízes e solo), foi de 74,55 Mg.ha⁻¹.

Dessa maneira, a autora concluiu que os SAF muitas vezes podem apresentar o potencial de sequestro e estoque de C em sua biomassa arbórea semelhante, ou até superior, ao de vegetações naturais em estágios iniciais de regeneração, como as capoeiras (estoque de C de aproximadamente 18,6 t.ha⁻¹). Portanto, pode-se afirmar que os SAF podem efetivamente contribuir para mitigar os efeitos de mudança climática devido às emissões de CO₂, além de também contribuir para o fortalecimento da agricultura familiar.

Silva (2013) investigou a dinâmica de C e quantificou a biomassa epígea em um SAF localizado em área de Cerrado do Brasil Central.

Foram realizadas medidas de δ¹³C e concentração de C foliar, serapilheira e do solo (0–20 cm de profundidade), estimou-se o estoque de C no solo e quantificou-se a biomassa epígea através do uso de equações alométricas específicas para verificação do C armazenado na estrutura da vegetação do SAF.

Através dos resultados, concluiu-se que a maior quantidade de C armazenada no SAF se encontra na biomassa epígea, quando comparado a sistemas tradicionais de uso da terra e áreas nativas de cerrado, enquanto o solo superficial desse SAF não apresentou maiores quantidades de C quando comparados a sistemas tradicionais de uso da terra, assim como de áreas de cerrado nativo.

Muchaviso (2013), objetivando quantificar e comparar os estoques de C em diferentes usos do solo na Amazônia Oriental, estimou o C total (biomassa viva e morta acima do solo e C do solo) em formações vegetais de floresta ombrófila densa, floresta de restinga, sistemas agroflorestais multiestratificados complexos, comerciais, quintais, capoeiras e pastagens.

O C total em florestas ombrófilas (164 Mg ha⁻¹) e sistemas agroflorestais complexos (161,6 Mg ha⁻¹) foi significativamente maior em comparação com capoeiras enriquecidas (71,6 Mg ha⁻¹) e áreas de pastagens (43,9 Mg ha⁻¹). Já florestas de restinga, sistemas agroflorestais e capoeiras em estágios avançados de desenvolvimento tiveram estoques intermediários.

Árvores de grande porte (> 50 cm DAP) estocaram quantidades significativas de C da vegetação, sendo que em sistemas agroflorestais comerciais maduros estocaram 83 Mg ha⁻¹ (89%), em sistemas agroflorestais complexos 78 Mg ha⁻¹ (63%) e em florestas ombrófilas 47 Mg ha⁻¹ (39%).

Estoques de C do solo em pastagens se mostraram significativamente menores em comparação com todos os outros usos do solo avaliados. Portanto, os SAF apresentam alto potencial de armazenamento de C, enquanto que a substituição de florestas por áreas de pastagens implica perdas drásticas em todos os componentes do estoque de C total.

Rocha *et al.* (2014) caracterizaram três SAF e suas respectivas vegetações nativas adjacentes, no Município de Grão Mogol-MG (Bioma Cerrado), quanto ao número, classificação botânica, distribuição diamétrica e estratificação vertical dos indivíduos arbóreos; e estimaram os estoques de C na fitomassa aérea, na serapilheira e no solo.

Dois dos SAF foram implantados em 2003, sendo que foram preservadas as espécies vegetais estratégicas, tais como melíferas, madeireiras, frutíferas e medicinais, e introduzidas novas espécies de acordo com as características edafoclimáticas da região e interesse dos agricultores. Já o terceiro SAF foi implantado também em 2003, mas no início dos anos da década de 1980, essa área foi drenada e a sua vegetação nativa suprimida para o cultivo.

Essa atividade ocorreu até o início da década de 1990, quando a área foi abandonada. Em 2003, quando o SAF foi implantado, a espécie nativa predominante era o araçá (*Psidium firmum* O Berg.), que foi mantida em função do interesse comercial de seus frutos. Outras espécies foram introduzidas e selecionadas em razão da tolerância à luminosidade e pela fertilidade natural do terreno. Nos três SAF estudados, o manejo das espécies arbóreas era realizado por meio de podas a fim de aumentar a disponibilidade de luz no sistema e incorporar matéria orgânica ao solo.

Os dois primeiros SAF, implantados a partir do manejo da vegetação nativa, apresentaram uma biodiversidade vegetal e estoque de C na fitomassa, na serapilheira e no solo semelhantes à área de vegetação nativa adjacente. Por outro lado, os estoques de C do terceiro SAF, implantado em área anteriormente cultivada com culturas anuais, apresentou menor diversidade de espécies arbóreas e menores estoques de C na fitomassa, serapilheira e no solo, em relação à vegetação nativa adjacente.

Dessa forma, concluiu-se que SAF bem manejados se assemelham à vegetação nativa em estoque de C e conservação da biodiversidade dos recursos naturais.

DETERMINAÇÃO DE CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO

Os autores Sacramento *et al.* (2013) conduziram pesquisa com finalidade de avaliar as alterações

promovidas nos estoques de C e N do solo por sistemas agrícolas agroflorestais (agrossilvipastoril e silvipastoril) e tradicional (com derrubada da vegetação, queima e cultivo por período de dois a três anos), confrontando-os à vegetação natural da Caatinga, após 13 anos, em experimento instalado em um Luvissoilo Crômico órtico típico, no Município de Sobral-CE.

Para tal, amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-6, 6-12, 12-20, 20-40 e 40-60 cm, em quatro repetições, considerando os relevos plano, convexo e côncavo em cada situação de estudo, sendo determinados o C orgânico total, o N total e as densidades do solo.

Entre os sistemas agroflorestais estudados, o silvipastoril, em longo prazo, promoveu as maiores reduções nos estoques de C e N, enquanto o agrossilvipastoril as menores perdas, representando alternativa sustentável para o sequestro de C e N do solo nas condições semiáridas relativas a esse estudo. Por outro lado, o sistema de cultivo tradicional apresentou reduções de 58,87 e 9,57 Mg ha⁻¹ dos estoques de C orgânico e N total, respectivamente, indicando sua não adequação para as condições semiáridas brasileiras.

Matos *et al.* (2016) obtiveram uma conclusão importante em seu trabalho, pois ao avaliarem um SAF com três anos de implantação, observaram que os estoques de C e N no solo ao invés de aumentarem como na maioria dos trabalhos aqui apresentados, diminuíram, apresentando valores de 93,1 e 5,5 Mg ha⁻¹, o que representou uma perda de 12,7 (12%) e 1,5 (21%) Mg ha⁻¹ de C e N do solo, respectivamente.

Os autores então explicam que o revolvimento do solo nas linhas de plantio promovidas pelo sulcador florestal, assim como o baixo aporte de resíduos na fase inicial de desenvolvimento das espécies vegetais podem ter contribuído para a redução dos estoques de C e N no solo nos primeiros anos de implantação do SAF. Acrescentam que, avaliando o efeito de diferentes sistemas agroflorestais em solo tropical, Lal (1989) também observou reduções nos conteúdos de C e N do solo nos primeiros cinco anos de implantação.

Sendo assim, é importante ressaltar que as taxas de acúmulo ou perda de C e N no solo em sistemas

agroflorestais variam de acordo com o tipo de solo, clima, manejo e preparo do solo e espécies vegetais cultivadas. Em outras palavras, o impacto de um SAF no sequestro de C no solo é dependente da quantidade e qualidade dos resíduos aportados pelos componentes do sistema e das propriedades do solo, principalmente, de sua estrutura e agregação (Nair, P.; Kumar; Nair, V., 2009).

Couto *et al.* (2017) avaliaram alterações nos teores de C e N e a abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ de um Cambissolo Háptico Tb distrófico em uma área com SAF e em outra área de mata nativa adjacente, ambas integrantes do Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado (Reca), localizado no distrito de Nova Califórnia-RO.

O SAF é composto das espécies vegetais, cupuaçu, pupunha e castanheira, tem eventualmente outras espécies, classificadas como essências florestais, e foi implantado com espaçamento de 7 m x 4 m, entre 1989 e 1992.

Em cada área de estudo, foram coletadas amostras de solo em oito profundidades de 0 m a 1 m. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas 2 x 8 (2 áreas florestais e 8 profundidades), com três repetições.

Como resultados, os autores descrevem que, com exceção da camada superficial do solo (0 - 0,1), a área de SAF está preservando mais os teores de C e aumentando os teores de N (0,2 - 1) em relação à mata nativa. Porém, ambas as áreas avaliadas apresentaram sinais de abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ referente a plantas do ciclo fotossintético C3, e a área de mata nativa apresentou nas camadas superficiais (0 - 0,20) maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$, demonstrando maior atividade de decomposição da matéria orgânica.

Mendonça *et al.* (2018) desenvolveram pesquisa no Município de Cachoeiro de Itapemirim-ES com objetivo de avaliar os estoques de C e N em diferentes profundidades e ao longo de um ano em SAF de três anos de idade com três sistemas de manejo: café conilon em monocultivo (testemunha); café conilon com pupunha e café conilon com banana. Uma área de mata nativa, Bioma Mata Atlântica, adjacente ao local do trabalho, também foi avaliada para comparação quanto ao estoque de C e N em ambiente natural.

Foram realizadas quatro coletas de solo na linha de plantio para a caracterização dos estoques C e N durante o ano, sendo na profundidade de 0-10 cm nos meses de março, junho, setembro e dezembro de 2016, e uma coleta no mês de setembro desse mesmo ano nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm. Também foi determinada a densidade do solo pelo método do anel volumétrico. Para cada coleta, foram realizadas quatro amostragens ou repetições, sendo feitas na área central das linhas 3, 7, 11 e 13 de cada sistema de manejo, e na área da mata nativa de forma aleatória.

O C orgânico total e o N total foram determinados segundo metodologia descrita por Mendonça e Matos (2005). Destaca-se que os resíduos de todo o material podado das plantas são distribuídos sobre a linha de plantio.

Os resultados mostraram que os maiores estoques de C e N na camada de 0-20 cm está relacionado ao aporte orgânico da parte aérea e de raízes nessa camada. Já a maior variação anual dos estoques de C e N nos SAF está relacionada ao aporte de resíduos vegetais das podas das espécies do consórcio, mas em média os valores anuais não diferem entre os sistemas. Todavia, os SAF podem proporcionar maior ciclagem de nutrientes na camada superficial do solo. Esse resultado é importante para o agricultor familiar agroecológico, cujos sistemas agrícolas são de baixo aporte externo à área de cultivo.

Ribeiro *et al.* (2019) também pesquisaram no sentido de avaliar a fertilidade e os estoques de C e N do solo após dez anos de implantação de SAF no Cerrado mineiro, precisamente no Assentamento Agroextrativista Americana, Município de Grão Mogol-MG.

Foram selecionados três SAF e duas áreas de vegetação nativa adjacentes, utilizadas como referência para o estudo, as quais foram agrupadas em função da classe de solo: Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo Háptico.

A amostragem do solo foi realizada retirando amostras compostas das camadas 0-5 e 0-20 cm de profundidade para avaliação dos teores de nutrientes e densidade aparente, e na primeira camada os estoques de C e N do solo.

Os SAF que foram implantados com manejo baseado em desrama/poda e manutenção da diversidade florís-

tica contribuíram para a melhoria da qualidade do solo e manutenção da fertilidade e estoques de C em níveis semelhantes à vegetação nativa. Já o SAF que foi implantado com a prévia supressão da vegetação nativa reduziu a diversidade arbórea e, conseqüentemente, os estoques de C ao longo do tempo. Porém, o manejo com culturas anuais e uso de leguminosas contribuiu para a melhoria da fertilidade do solo e incremento dos teores e estoques de N.

EFLUXO DE GEE DO SOLO E DA BIOMASSA

Lopes (2015) destaca em seu trabalho que no ciclo do C não apenas o sequestro desse elemento do solo, mas também o efluxo de CO₂, ainda pouco estudado em sistemas agrícolas, precisam ser quantificados. Nesse sentido, o trabalho objetivou quantificar emissões de CO₂ do solo sob cafezais, na Zona da Mata Mineira, em SAF e a pleno sol, e identificar as seguintes variáveis: níveis de sombreamento, características físicas, químicas, biológicas e os fatores ambientais que influenciam o efluxo de CO₂ no inverno (estação seca na região).

Os resultados mostraram que nessa estação os valores de efluxos de CO₂ do solo para a atmosfera são pequenos e não houve diferença entre os efluxos nos sistemas avaliados. As sombras das árvores não influenciaram o efluxo no período avaliado. As variáveis químicas (estoque de C, estoque de N e C lábil), físicas (macroporosidade e porosidade total), juntamente com a umidade do solo controlaram a dinâmica da respiração do solo no inverno. A biomassa microbiana não contribuiu para a respiração do solo no inverno. No entanto, estudos de longo prazo e submetidos à frequência de variabilidade climática interanual são necessários para conclusões mais definitivas. Além disso, sugere-se avaliar a contribuição das raízes e da qualidade da matéria orgânica do solo no efluxo de CO₂ para a atmosfera.

Silveira *et al.* (2016), nessa mesma linha de pesquisa, mas com objetivo de avaliar também os efluxos de outros GEE (metano – CH₄ e óxido nitroso – N₂O), além do CO₂ no SAF em relação à mata nativa, utilizaram para as coletas dos gases um sistema de câmaras estáticas que coletam ar atmosférico, com posteriores análises em laboratório por meio da cromatografia gasosa, a fim de determinar as concentrações desses gases em ambos os tratamentos.

O experimento foi conduzido em Sinop–MT, e o SAF é composto de seringueira, açaí, cacau, castanheira, cupuaçu e mogno–africano, todos intercalados com bananeira, dividido em três arranjos. As bananeiras, seringueiras, açaí e castanheiras estão presentes em todos os arranjos. O cacau se encontra apenas nos arranjos 1 e 2. Já o cupuaçu está presente nos arranjos 2 e 3, e o mogno–africano apenas no arranjo 2.

Como resultado, constatou-se que as emissões acumuladas de N₂O no período de 15 meses foram de 1,9 kg N ha⁻¹ no SAF e 2,33 kg N ha⁻¹ na mata e de -1,34 kg C ha⁻¹ no SAF e 0,5 kg C ha⁻¹ na mata. Dessa maneira, concluiu-se que o SAF foi mais eficiente em reduzir emissões de N₂O e CH₄ em relação à mata nativa em um curto prazo, mas recomenda-se que sejam feitos outros estudos de longo prazo, principalmente visando entender mais profundamente os processos que regulam essas emissões.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio deste estudo, pode-se constatar um esforço na última década direcionado às pesquisas em SAF em relação ao sequestro de CO₂ atmosférico e às práticas agrícolas mais sustentáveis. Isso porque o aumento vertiginoso e muito veloz do aquecimento global tem trazido grande preocupação para a sociedade, incluindo o meio científico. Dessa maneira, conclui-se que:

- Os SAF demonstram alta capacidade de fixação de C no solo, semelhante às matas nativas, e maior que pastagens e sistemas convencionais. Quanto maior o tempo de implantação do SAF, melhores são os resultados nesse sentido.

- Os SAF também possuem alta capacidade de produção de biomassa e de fixação de C nela, sendo que espécies pioneiras, secundárias iniciais e algumas outras específicas, e a depender de suas densidades nos arranjos agroflorestais, demonstram maior capacidade de sequestro de CO₂, do que em outros sistemas, evidenciando a necessidade da escolha correta dos arranjos por parte dos agricultores.

- SAF manejados a partir de matas nativas demonstram melhores resultados em relação à diversidade de espécies e sequestro de C, tanto no solo quanto na biomassa, do

que SAF implantados em outras áreas (áreas degradadas, cultivos anuais anteriores etc.). Realizar o manejo do sistema através da poda também é essencial para o aporte de C e N para o solo.

– O N segue as mesmas premissas expostas para o C, sendo pelo menos mantido, e na maioria das vezes aumentando seus níveis nos solos dos SAF estudados.

– As pesquisas em SAF dos últimos dez anos foram direcionadas não só ao sequestro de CO₂, mas também de N₂O, outro gás ligado à agricultura e também importante causador de efeito estufa.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Aline Marchiori Crespo: escolha do tema e contribuição na revisão de literatura.

Mauricio Novaes Souza: contribuição na revisão de literatura e correção do artigo pronto.

Maria Amélia Bonfante da Silva: contribuição na revisão de literatura.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

AGRADECIMENTOS

À revista “Incaper em Revista” pela oportunidade de ampliação e compartilhamento de conhecimento científico e às instituições envolvidas neste trabalho, as quais vêm fortalecendo suas parcerias ao longo do tempo: Ifes–Campus de Alegre e Incaper.

REFERÊNCIAS

- ARANCIBIA, I. A. L. *et al.* Papel ecológico no sequestro de carbono de um sistema agroflorestal sucessional no Sudoeste do Paraná. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020. Disponível em: <http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/index.php/cadernos/article/view/5306>. Acesso em: 26 set. 2022.
- ARANCIBIA, I. A. L. **Carbono estocado acima do solo por um sistema agroflorestal sucessional na mata atlântica**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/29290>. Acesso em: 19 set. 2022
- BARROS, J. D. S. Contribuições da matéria orgânica do solo para mitigar as emissões agrícolas de gases de efeito estufa. **Polêmica**, v. 12, n. 2, 2013. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/6436/4844>. Acesso em: 16 set. 2022.
- BRACHTVOGEL, C. *et al.* Sistemas agroflorestais biodiversos: potencial para sequestro de carbono. **Anais do Agroecol.** 2018, v. 13, n. 2, 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1104556/1/Potencial....pdf>. Acesso em 20 set. 2022.
- CARDOSO, D. J. *et al.* Carbono de biomassa em floresta nativa e sistemas florestais como indicador de serviços ambientais. *In*: PARRON, L. M. *et al.* (Eds.) **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF, Embrapa Florestas, 2015. p. 84–91. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1024082>. Acesso em: 21 set.2022.
- CHAVE, J. *et al.* Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v. 145, p. 87–99, 2005.
- CHAVE, J. *et al.* Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global change biology**, v. 20, n. 10, p. 3177–3190, 2014.
- COGO, F. D. *et al.* Carbono orgânico de um Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiros em sistemas de manejo agroflorestal e convencional. **Revista Agrogeoambiental**, 2012. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/446/0>. Acesso em: 22 set.2022.
- COUTO, W. H. *et al.* Carbono, Nitrogênio, Abundância Natural de δ¹³C e δ¹⁵N do Solo sob Sistemas Agroflorestais. **Floresta e ambiente**, v. 24, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/loram/a/WRbDjWYnfq9RGvpJdXvM8Jm/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 26 set.2022.
- DA SILVA LINHARES, J. M. *et al.* Estoque de carbono orgânico no solo sob floresta primária (FP) e sistemas agroflorestais (SAF) em assentamento rural no sul do Amazonas. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 8, n. 2, p. 497–519, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/4285>. Acesso em: 27.set.2022.
- DORES–SILVA, P. R. *et al.* Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Química Nova**, v. 36, n. 5, p. 640–645, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/8NDC3SbS8jzYqwSpLBDNzDQ/?lang=pt>. Acesso em: 24 set. 2022.
- GUIMARÃES, D. V. *et al.* Qualidade da Matéria Orgânica do Solo e Estoques de Carbono e Nitrogênio em Fragmento de Mata Atlântica do Município de Neópolis, Sergipe. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4, p. 5, 2012. Disponível em: <https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/1417>. Acesso em: 27.set.2022.
- GUSSON, E. **Avaliação de métodos para a quantificação de biomassa e carbono em florestas nativas e restauradas da Mata Atlântica**. 2014. Tese (Doutorado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

HIGUCHI, N. et al. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 28, p. 153-153, 1998.

IWATA, B.F. et al. Total and particulate contents and vertical stratification of organic carbon in agroforestry system in Caatinga. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 443-451, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/gHhJDQ4wjxwCtZVJYm6g6cB/abstract/?lang=en>. Acesso em: 24 set. 2022.

LAL, R. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol: III – Changes in soil chemical properties. **Agroforestry Systems**, v. 8, p.113-132, 1989.

LOPES, V. S. **Efluxo de CO₂ do solo no inverno em cafezais cultivados nos sistemas agroflorestais e a pleno sol**. 2015. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, 2015. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/8343>. Acesso em: 22 set. 2022.

LOSS, A. et al. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **IDESIA**, Chile, v. 29, n. 2, p. 11-19, 2011. Disponível em: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292011000200002. Acesso em: 24 set.2022.

MARTINS, E. de O. et al. Recuperação de áreas degradadas da cafeicultura sob manejo de sistema agroflorestal. In: SOUZA, M. N. (org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. v. 3. Canoas, RS, Mérida Publishers, 2022. p. 137-157. Disponível em: <http://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-04-6.c4>. Acesso em: 17 set. 2022.

MATIAS, S. S. R. et al. Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e no carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 3, p. 414-420, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/73412/2-s2.0-84871578734.pdf;jsessionid=9F07763CEEDE23F6DEB8394737A97B5?sequence=1>. Acesso em: 25 set. 2022.

MATOS, E. da S.; Antonio, D. B. A.; RODRIGUES, R. Estoques de carbono e nitrogênio do solo em área de SAF e floresta nativa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 10., 2016, Cuiabá. **Anais [...] SAF: aprendizados, desafios e perspectivas**. Cuiabá: SBSAF, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1066260/estoques-de-carbono-e-nitrogenio-do-solo-em-area-de-saf-e-floresta-nativa>. Acesso em: 22 de set.2022.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. D. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: [s.n.], p. 77, 2005.

MENDONÇA, E. S. et al. Estoque de carbono e nitrogênio em sistemas agroflorestais de café conilon. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/1432>. Acesso em: 20 set. 2022.

MUCHAVISOY, H. M. **Estoques de carbono em floretas, capoeiras e sistemas agroflorestais da Amazonia Oriental**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão (Uema), São Luís, Maranhão, 2013. Disponível em: <https://repositorio.uema.br/handle/123456789/424>. Acesso em: 27 set. 2022.

NAIR, P.K.R., KUMAR, M., NAIR, V.D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, p. 10-23, 2009.

OLIVEIRA, A. C. C. **Sistemas agroflorestais com café: fixação e neutralização de carbono e outros serviços ecossistêmicos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agroecologia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/6212>. Acesso em: 24 set. 2022.

PADOVAN, M. P. et al. Estoque de carbono na biomassa vegetal em sistemas agroflorestais de base agroecológica na região fronteira do Brasil com o Paraguai. I SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL. 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1083460?locale=pt-BR>. Acesso em: 24 set.2022.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1609-1623, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/5yDMRDk5mBCzvVW9jH37rt/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 17 set.2022.

RIBEIRO, J. M. et al. Fertilidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio sob sistemas agroflorestais no Cerrado Mineiro. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 913-923, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/25310>. Acesso em: 20 set. 2022.

ROCHA, G. P. et al. Caracterização e estoques de carbono de sistemas agroflorestais no Cerrado de Minas Gerais. **Ciência Rural**, v. 44, p. 1197-1203, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/FqqWwCvY7RVwgG8QF9nPy6K/?lang=pt>. Acesso em: 23 set. 2022

RUFINO, D. C. et al. Estoque de carbono do solo em agroecossistemas e vegetação secundária. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, 2022. Disponível em: <file:///C:/Users/incaper/Downloads/33840-Article-380359-1-10-20220901-1.pdf>. Acesso em: 23 set. 2022.

SACRAMENTO, J. A. A. S. et al. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 784-795, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/V8sfqxNnshzp9JhzbptvNkH/?lang=en>. Acesso em: 25 set. 2022.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374. Disponível em: https://www.ufrb.edu.br/pgsolos/images/DISCIPLINAS/Mat%C3%A9ria_org%C3%A2nica_do_solo_CCA763.doc. Acesso em: 26 set. 2022.

SILVA, S. M. **Quantificação de carbono de um sistema agroflorestal em área de cerrado no Brasil Central**. 2013. 58 p. Monografia (Graduação em Gestão Ambiental), Universidade de Brasília, Planaltina, DF, 2013. Disponível em: <https://jbb.ibict.br/handle/1/1057>. Acesso em: 28 set. 2022.

SILVA, A. C. S. da. et al. Estoque de biomassa aérea, carbono e sequestro de dióxido de carbono em sistemas florestais na Amazônia Mato-grossense. **Acta Iguazu**, v. 3, n. 4, p. 22-35, 2014. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/11243>. Acesso em: 25 set.2022.

- SILVA, M. A. B. da *et al.* A relevância da matéria orgânica para a manutenção da qualidade solo. In: SOUZA, M. N. (org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. v. 3. Canoas, RS, Mérida Publishers. 2022. p. 187-207. Disponível em: <http://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-04-6.c6>. Acesso em: 25 set. 2022.
- SILVEIRA, J. G. da *et al.* Fluxo de óxido nitroso e metano em sistema agroflorestal no norte de Mato Grosso. CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2016, Cuiabá, MT. **Anais [...]**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1064213/fluxo-de-oxido-nitroso-e-metano-em-sistema-agroflorestal-no-norte-de-mato-grosso>. Acesso em: 25 set.2022.
- SIQUEIRA, C. B. *et al.* A agrofloresta como forma de recuperação e educação ambiental no município de Castelo, Espírito Santo. In: SOUZA, M. N. (org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. v. 3. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2022. p. 299-324. 2022. Disponível em: <http://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-04-6.c10>. Acesso em: 19 set. 2022.
- SOUZA, M. N. **Degradação Antrópica e Procedimentos de Recuperação Ambiental**. Balti, Moldova, Europe: Novas Edições Acadêmicas, 2018, v. 1000. 376p. Disponível em: <https://www.amazon.com/Degrada%C3%A7%C3%A3o-Antr%C3%B3pica-Procedimentos-Recupera%C3%A7%C3%A3o-Ambiental/dp/6139668735>. Acesso em: ?
- STÖCKER, C. M. *et al.* Estoques de carbono de um Argissolo sob sistema agroflorestal. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/1064>. Acesso em: 25 set. 2022.
- STOCKMANN, U. *et al.* The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 164, p. 80-99, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880912003635>. Acesso em: 19 set. 2022.
- TORRES, C. M. M. E. **Estocagem de carbono e inventário de gases de efeito estufa em sistemas agroflorestais**, Viçosa, MG. 2015. 97f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, 2015. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/6844/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 22 set. 2022.
- VEIGA, J. E. da. Indicadores socioambientais: evolução e perspectivas. **Revista de Economia Política**, São Paulo, v. 29, n. 4, p.421-35, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rep/a/LWD3fxmdZS7SdGTjQvBTxgd/?lang=pt>. Acesso em: 22 set.2022.
- VISMARA, E. S. **Avaliação da construção e aplicação de modelos florestais de efeitos fixos e efeitos mistos sob o ponto de vista preditivo**. 2013. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa: Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.