
Produção de madeira, sequestro de carbono, SAFs e fomento florestal

Mariana Rodrigues Almeida, Ana Cláudia Moreira Guerra, Verônica dos Santos Claudio Bispo, Guilherme Andrião Trugilho, Silvia Aline Bérغامo Xavier, Leonardo Marcondes Queiroz do Nascimento, Poliana Lemes Azevedo, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-18-3.c5>

Resumo

O aumento alarmante das taxas de desmatamento, aliado à prática inadequada de manejo do solo, tem sido uma das principais causas de problemas ambientais graves, tais como inundações severas, erosão intensa do solo, perda de biodiversidade e o aumento dos níveis de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Para enfrentar essa situação, diversas estratégias estão sendo adotadas visando a redução das emissões de GEE. Essas estratégias incluem iniciativas como reflorestamento, redução do uso de combustíveis fósseis e mudanças na gestão do solo. Uma abordagem promissora para atender à crescente demanda por produtos sustentáveis e, ao mesmo tempo, recuperar ecossistemas degradados, é a promoção da agricultura de baixa emissão de carbono (ABC). Os sistemas agroflorestais (SAFs) se destacam como uma maneira favorável de mitigar os impactos do manejo inadequado do solo. Eles desempenham um papel crucial no sequestro de carbono atmosférico, na melhoria da qualidade e fertilidade do solo e na obtenção de benefícios financeiros, por meio da redução dos custos com insumos externos. A combinação de espécies arbóreas com cultivos alimentares, conhecida como consórcio agroflorestal, facilita a ciclagem de nutrientes, aumenta a matéria orgânica no solo por meio da formação de serapilheira, amplia a diversidade de produtos obtidos na propriedade e reduz as emissões de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera - um fenômeno conhecido como "sequestro de carbono". É importante observar que o sequestro de carbono tem ganhado destaque como uma atividade financiada por governos e empresas por meio do crédito de carbono, visando mitigar os impactos das emissões de GEE. Além disso, programas de incentivo florestal também apoiam pequenos agricultores, fornecendo recursos para a produção de alimentos, a extração sustentável de madeira e o cultivo de plantas medicinais. Essas estratégias de fomento florestal têm se mostrado eficazes para atender à demanda por madeira de forma sustentável, fornecer assistência técnica aos pequenos agricultores, aumentar as áreas de florestas plantadas e contribuir para as taxas de sequestro de carbono.

Palavras-chave: Gases de efeito estufa. Políticas públicas. Agrofloresta. Sequestro de carbono. Fomento florestal.

1. Introdução

A intensificação do desmatamento e a redução dos tamanhos das florestas naturais em todo o mundo têm ocorrido como resultado de incêndios, corte de árvores para propósitos comerciais, devastação de terras principalmente para a atividade agropecuária (Figura 1).



Figura 1. Fogo provocado por práticas agropecuárias de vizinhança inadequadas, Alegre, ES. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2019.

Ao longo da história, indivíduos têm sempre se beneficiados da remoção de árvores para usos diversos como fonte de energia, construções de habitações e tornar a terra disponível para a agricultura (ARRAES; MARIANO; SIMONASSI, 2012). Segundo Castro (2005), o comércio de madeira em países desenvolvidos tem sido uma atividade sustentável, embora o mesmo possa não ocorrer em países em desenvolvimento.

O fato é que a questão da sustentabilidade no comércio de madeira varia amplamente de país para país e depende de uma série de fatores, incluindo políticas governamentais, regulamentações, práticas industriais e conscientização ambiental. Em países desenvolvidos, como os da União Europeia, Estados Unidos, Canadá e alguns países nórdicos, houve esforços significativos para promover a sustentabilidade no comércio de madeira (COSTA, 2016).

De acordo com esse mesmo autor, esses países frequentemente implementaram regulamentações rigorosas, como o FSC (*Forest Stewardship*

Council) e o PEFC (*Programme for the Endorsement of Forest Certification*), para certificar que a madeira seja proveniente de fontes sustentáveis e que a extração de madeira seja conduzida de maneira ambientalmente responsável. Além disso, promovem práticas de manejo florestal sustentável e têm regras estritas contra a exploração ilegal de madeira.

Em países em desenvolvimento, a situação pode ser mais complexa devido a uma série de desafios, como governança fraca, falta de recursos, pressões econômicas e sociais, e demanda crescente por produtos de madeira. Como resultado, em alguns casos, a exploração não sustentável de recursos florestais e a exploração ilegal de madeira ainda podem ser problemas significativos (COSTA, 2012; FERREIRA-ALVES et al., 2023).

Nas florestas tropicais, o desmatamento tem aumentado a uma taxa crescente, atingido 50% de toda sua área florestal, dados de setembro de 2021, estimava-se que houvesse aproximadamente 1,6 bilhão de hectares de florestas tropicais em todo o mundo. A Amazônia brasileira abrange aproximadamente 4,2 milhões de quilômetros quadrados (ou cerca de 420 milhões de hectares) (www.sosma.org.br, 2023).

Dos problemas relacionados com o desmatamento estão o esgotamento dos estoques de lenha, as graves inundações, a destruição acelerada do solo, a desertificação gradativa e a redução da biodiversidade e da produtividade primária da terra; entre outros problemas, o que tem gerado mais preocupação é o aquecimento global provocado pelo aumento dos gases de efeito estufa (SOUZA, 2003; GIBBS et al., 2015; ASNER; BROADBENT, 2017; SOUZA, 2023).

O IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima) conclui, entre os cenários estudados, que há mais de 50% de chance de a temperatura global atingir ou ultrapassar 1,5°C entre 2021 e 2040. Especificamente em um cenário de emissões extremamente altas, o mundo pode atingir esse limiar ainda mais cedo: até 2037. Em um cenário tão intensivo em carbono, a temperatura global poderia aumentar entre 3,3°C e 5,7°C até 2100. Para colocar essa projeção de aquecimento em perspectiva, a última vez que as temperaturas globais aumentaram 2,5°C em relação aos níveis pré-industriais foi há mais de três milhões de anos (IPCC, 2022; www.sosma.org.br, 2023).

Apesar de alguns indícios positivos, como a desaceleração na taxa de crescimento anual das emissões de gases de efeito estufa (GEE), que passou de uma média de 2,1% ao ano entre 2000 e 2009 para 1,3% ao ano entre 2010 e 2019, o progresso global na mitigação das mudanças climáticas continua lamentavelmente aquém do necessário. Ao longo da última década, as emissões de GEE seguiram uma tendência constante de aumento, chegando a 59 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO_{2e}) em 2019. Isso representa aproximadamente 12% a mais do que em 2010 e um aumento de 54% em comparação com os níveis de 1990 (IPCC, 2022)

As emissões brutas de CO₂ brasileiras, equivalentes ao Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential – GWP*), passaram de 1,65 bilhão para 2,17 bilhões de toneladas entre 1990 e 2016, um aumento de 32%. Durante esse período, o Brasil emitiu um total de cerca de 60 bilhões tCO₂ (Observatório do Clima, 2016).

Estratégias relevantes para redução da emissão dos GEE consistem em (ASSAD et al., 2019):

➤ **Redução da queima de combustíveis fósseis:** isso envolve a transição para fontes de energia mais limpas e renováveis, como a energia solar, eólica e hidrelétrica, e a promoção da eficiência energética em setores como transporte, indústria e residências. Também pode incluir o uso de biocombustíveis e a implementação de tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CAC) em usinas de combustíveis fósseis.

➤ **Minimização de desmatamento e queimadas:** a preservação das florestas e a redução do desmatamento são essenciais para evitar a liberação de carbono armazenado nas árvores e no solo. Além disso, a prevenção de queimadas não controladas e a implementação de práticas agropecuárias sustentáveis podem reduzir as emissões associadas a incêndios florestais.

➤ **Manejo adequado do solo:** a implementação de práticas agrícolas sustentáveis, como a agropecuária regenerativa, de conservação e a agrofloresta, podem ajudar a melhorar a qualidade do solo, reduzir a erosão e a degradação do solo e, ao mesmo tempo, aumentar a eficiência no uso de recursos.

➤ **Maximização das remoções de CO₂ (Sequestro de Carbono):** pode ser alcançado por meio de várias medidas, tais como o reflorestamento e a restauração de ecossistemas degradados, que aumentam a capacidade de armazenamento de carbono das paisagens. Também inclui práticas agropecuárias que promovem o sequestro de carbono no solo, como o plantio direto e a adição de matéria orgânica.

➤ **Eficiência energética e mudanças no comportamento:** além das tecnologias de energia limpa, a redução das emissões também pode ser alcançada por meio da promoção da eficiência energética em edifícios, transporte e indústria. Mudanças comportamentais, tais como o uso de transporte público, compartilhamento de veículos e redução do desperdício de energia, também desempenham um papel crucial.

➤ **Políticas e regulamentações:** governos e organizações internacionais desempenham um papel importante na promoção de políticas e regulamentações que incentivem a redução das emissões. Isso pode incluir a implementação de impostos sobre carbono, estabelecimento de metas de emissões e padrões de eficiência para veículos e indústrias, e a promoção de incentivos para energia renovável.

➤ **Pesquisa e desenvolvimento tecnológico:** investir em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de baixa emissão de carbono, tais como armazenamento de energia, energia renovável avançada e métodos de captura de carbono, é fundamental para acelerar a transição para uma economia de baixo carbono.

Ou seja, essas estratégias, redução da queima de combustíveis fósseis (petróleo, gasolina, diesel, carvão mineral), minimização de desmatamento e queimadas, manejo adequado do solo e maximização das remoções de CO₂, chamadas de “sequestro de carbono”, podem desempenhar um papel fundamental na redução das emissões de GEE e no combate às mudanças climáticas. Elas são parte de um esforço global para atingir as metas estabelecidas no Acordo de Paris e outras iniciativas internacionais para combater as mudanças climáticas (Figura 2).

Nesse sentido, propostas para reduzir as emissões líquidas de CO₂ podem ser analisadas por meio de alternativas de sistemas de uso da terra que possam amenizar a emissão antrópica de gases de efeito estufa (RODRIGUES et al., 2000; SOUZA, 2015). Considerando manejos que minimizem o desmatamento integrado ao sequestro de carbono, é possível citar os sistemas agroflorestais (SAFs) (SILVA; SOUZA, 2021).



Figura 2. Adaptação baseada em ecossistemas para proteger vidas e meios de subsistência. Fonte: Comissão Global de Adaptação, 2019.

Os SAFs são sistemas agrícolas que combinam árvores, culturas agrícolas e, ou, animais em uma mesma área. Esses sistemas são projetados de forma a aproveitar os benefícios tanto da agricultura quanto da silvicultura, ao mesmo tempo em que desempenham um papel importante na mitigação das mudanças climáticas, incluindo o sequestro de carbono. Tais agroecossistemas podem funcionar como bancos de estoque de carbono, recuperando CO₂ perdido por meio do desmatamento das florestas (SILVA et al., 2021) (Figura 3).

Além de gerar ganhos econômicos pelo aumento da produtividade e na diversificação de cultivo, como aqueles que têm sido adotados na cafeicultura regenerativa, esses sistemas apresentam uma série de benefícios relacionados à conservação do solo, da biodiversidade e da água, além do aumento da eficiência da adubação e a redução do número de operações agrícolas, o que

representa menor consumo de combustíveis fósseis, menos emissões de GEE e de uso de fertilizantes minerais (TELLES et al., 2021).



Figura 3. SAF da Fazenda Água Limpa - UnB Brasília, DF. Acervo Verônica Bispo, 2017.

2. Emissões de GEE

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) têm sido uma crescente preocupação mundial em relação às mudanças do clima no planeta, decorrentes, principalmente, das emissões de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) (GAYATHRI et al., 2021).

Os gases de efeito estufa (GEE) são conhecidos por sua capacidade de permitir a passagem da radiação solar de curtos comprimentos de onda, enquanto absorvem intensamente a radiação emitida pela Terra, que possui comprimentos de onda maiores. Esse fenômeno resulta no aquecimento da atmosfera. O aumento das concentrações desses gases na atmosfera, com destaque para o dióxido de carbono, tem consequências adversas, incluindo poluição do ar e mudanças climáticas. Essas mudanças têm impactos significativos na economia, na saúde global e na qualidade de vida, como documentado por Mikhaylov et al. (2020) e Schweitzer et al. (2021).

As principais atividades humanas que contribuem para o aumento de emissão de CO_2 incluem usinas de energia, usinas têxteis, indústrias, queima de

gás natural, incineração de lixo em aterros, desmatamento, incêndios florestais, uso de agroquímicos e fertilizantes, urbanização, queima de madeira, queima de resíduos plásticos e queima de combustíveis fósseis (LEVIN, 2012; LISIN, 2020). Estima-se que, mundialmente, cerca de 23% das emissões antrópicas são oriundas da produção agropecuária e mudanças no uso da terra (IPCC, 2014).

De acordo com Manzatto et al. (2018), as emissões de GEE pela agropecuária no Brasil são cerca de 31% do total, oriundas sobretudo do desmatamento e do processo produtivo, como emissões de gás metano na pecuária e liberação de carbono pelas práticas de manejo do solo.

Segundo a SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima), cerca de 3,2% das emissões globais são emitidas pelo nosso país, ficando atrás apenas de China, EUA, Rússia e Índia. Cerca de 73% das emissões nacionais estão direta ou indiretamente ligadas ao setor agropecuário e a mudança de uso da terra. Em 2020, cerca de 46% das emissões brutas vieram da mudança de uso da terra (SEEG, 2021). A Tabela 1 mostra os valores das emissões totais por setor.

Tabela 1. Emissões de GEE no Brasil 2019 e 2020 (tCO_{2e} – GWP-AR5)

SETORES	2019	%	2020	%	VARIAÇÃO 2019-2020
Agropecuária	562.987.702	29%	577.022.998	27	2,5%
Energia	412.466.747	21%	393.705.260	18	-4,5%
Processos Industriais	99.472.616	5%	99.964.389	5	0,5%
Resíduos	90.399.714	5%	92.047.812	4	1,8%
Mudança de Uso da Terra e Floresta	806.996.124	41%	997.923.296	46	23,7%
Total Emissões Brutas	1.972.322.903		2.160.663.775		9,5%
Total Emissões Líquidas	1.336.613.309		1.524.954.161		14,1%

Fonte: SEEG, 2021.

Os valores mostram que no ano de 2020 as emissões relacionadas ao setor de mudança de uso da terra e florestas aumentaram 5% em relação ao ano anterior. Segundo o relatório da SEEG (2021), a média de emissão de CO₂ por brasileiro foi de 10,2 toneladas brutas, contra 6,7 da média mundial. Diante desse cenário, é de suma importância aprimorar a pesquisa e a disponibilidade de

informações para desenvolver estratégias que promovam práticas agropecuárias capazes de reduzir os efeitos do efeito estufa.

A adoção de boas práticas agropecuárias para diminuir as emissões de GEE da agricultura como sistemas regenerativos de baixo carbono e sistemas integrados, como ILP, ILPF e SAFs, faz do Brasil um dos principais protagonistas da discussão mundial sobre o combate às mudanças climáticas (GURGEL; COSTA; SERIGATI, 2013).

3. Agricultura de baixa emissão de carbono

Mediante ao cenário de impactos ambientais e as alterações climáticas ocasionadas pelas emissões de GEE, alternativas têm sido desenvolvidas para uma produção agrícola mais sustentável (Figura 4).



Figura 4. Sistema silvipastoril no município de Mimoso do Sul, ES – agropecuária de baixo carbono. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2022.

Neste sentido, a agricultura de baixo carbono se apresenta como uma ferramenta capital para alcançar objetivos e metas planejados pelo setor agrônomo, sendo as tecnologias agrícolas sustentáveis um caminho promissor para a realização de planos voltados a esse modelo de produção agropecuário (VINHOLIS et al., 2020).

No Brasil, o conceito de uma agricultura de baixa emissão de carbono ganhou maior visibilidade quando o país assumiu compromissos de âmbito internacional na COP-15, em 2009, onde foram aprovados o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, também conhecido como Plano ABC - Plano Brasileiro de Agricultura de Baixo Carbono (BRASIL, 2012).

O plano ABC inclui ações, indicadores e metas específicas para redução de emissões de GEE e visa facilitar a capacitação, melhorar a assistência técnica e fornecer crédito para os agricultores que decidem adotar práticas agrícolas de baixo carbono (MARTINS; ROMARCO; SOUZA, 2013; MARTINS; SOUZA, 2013).

As medidas contidas no Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) visam promover práticas agrícolas que ajudem a reduzir as emissões de gases de efeito estufa na produção agropecuária. Dentre as ações do Plano ABC, incluem-se (MARTINS; ROMARCO; SOUZA, 2013; MARTINS; SOUZA, 2013; SILVA et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2022):

➤ **Recuperação de pastagens degradadas:** envolve a restauração de áreas de pastagem que perderam sua capacidade produtiva devido à degradação do solo e da vegetação. Pode ser feito por meio de práticas como a correção do solo, o plantio de forrageiras mais produtivas e a recuperação de áreas de preservação permanente.

➤ **Adoção de sistemas integrados (ILP e ILPF) e sistemas agroflorestais (SAFs):** os sistemas integrados, como a integração lavoura-pecuária (ILP) e a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), combinam diferentes atividades agrícolas em uma mesma área, aproveitando sinergias e reduzindo a pressão sobre o solo. Os sistemas agroflorestais incorporam árvores, culturas agrícolas e, ou, animais para promover a sustentabilidade e o sequestro de carbono (Figura 5).

➤ **Adoção do sistema plantio direto (SPD):** o sistema plantio direto é uma técnica que envolve o plantio de culturas sem a preparação intensiva do

solo, o que ajuda a reduzir a erosão e a degradação do solo, além de conservar a umidade.

➤ **Difusão da fixação biológica de nitrogênio (FBN):** a fixação biológica de nitrogênio é uma estratégia que permite que plantas leguminosas, como feijão e soja, fixem o nitrogênio diretamente do ar com a ajuda de bactérias simbióticas. Isso reduz a necessidade de fertilizantes nitrogenados sintéticos, que são uma fonte significativa de emissões de gases de efeito estufa.



Figura 5. Sistema silvipastoril no município de Mimoso do Sul, ES – agropecuária de baixo carbono – ao fundo, pastagem solteira degradada. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2022.

➤ **Expansão da área de florestas plantadas:** o aumento da área de florestas plantadas, especialmente com espécies de crescimento rápido, pode contribuir para o sequestro de carbono e fornecer madeira como matéria-prima renovável.

➤ **Tratamento de dejetos animais:** a gestão adequada dos dejetos de animais, como suínos e bovinos, pode reduzir a emissão de gases de efeito estufa, incluindo o metano. Isso pode ser feito por meio de tecnologias de tratamento anaeróbico, compostagem e uso de dejetos como fertilizantes (Figura 6).

Essas ações fazem parte de um esforço mais amplo para promover a agricultura de baixa emissão de carbono, reduzir a pegada ambiental da produção agropecuária e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas.

As políticas públicas e projetos que têm interface com metas dentro do contexto do Plano ABC podem ser exemplificadas por: Plano de ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal – PPCDAm; Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado – PPCerrado; Operação Arco Verde – OAV; Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais – Prevfogo (MAPA, 2012); além do Projeto Integrado para a produção e o manejo sustentável do Bioma Amazônia – Fundo Amazônia; do Plano Nacional de Florestas Plantadas; do Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – Planaveg (MOREIRA, 2019).



Figura 6. Lagoa para tratamento da água residuária de suinocultura no Ifes campus de Alegre. Fonte: Acervo Otacílio José Passos Rangel, 2020.

➤ **Sistemas Agroflorestais (SAF)**

Os princípios do SAF estão intimamente ligados à reprodução dos processos naturais. Assim, esse sistema envolve a utilização de árvores de espécies nativas que possuam raízes profundas e possam formar a camada

superior da floresta consorciada com árvores de crescimento rápido e culturas alimentícias (Figura 7).

Por exemplo, o café que quando consorciado com cítricas e bananeiras, tem um crescimento mais acelerado e vigoroso e a bananeira por sua vez, fica menos suscetível a doenças quando associada às espécies cítricas. Nesse sistema, a poda é fundamental e deve acontecer para que a luz do sol chegue até as menores espécies (GÖTSCH, 1996; SOUZA et al., 2020).

De acordo com análise feita por Irineu (2018), em quatro propriedades rurais que fizeram a transição de sistemas convencionais para sustentáveis, foi constatado que a produtividade aumentou com o manejo em SAF. O aumento da biodiversidade promoveu controle natural de pragas, reduzindo gastos com insumos externos e concluiu que o sistema promoveu equilíbrio entre solo e nutrientes, melhorando a fertilidade do solo e recuperação de áreas degradadas.



Figura 7. SAF com banana, café, eucalipto, *citrus* e espécies nativas. Acervo dos autores, 2023.

Os serviços de reflorestamento contribuem para a mitigação do efeito estufa por intermédio do armazenamento de gás carbônico e também

restabelecem diversos serviços ambientais, econômicos e sociais de grande importância para a sociedade.

Conforme May et al. (2005); Assad et al. (2019); e IPCC (2022), projetos florestais não podem estar sujeitos somente ao mercado de carbono como a principal fonte de retorno financeiro. Os sistemas florestais e agroflorestais de produção devem gerar renda suficiente para se tornarem economicamente viáveis, e a venda dos créditos de carbono entraria como uma renda adicional, apenas como um incentivo a mais para manter os reflorestamentos no longo prazo.

Em relação ao retorno financeiro, é importante destacar que a variabilidade pode ser significativa devido a uma série de fatores, como as diferentes combinações de espécies em SAFs, as práticas de manejo empregadas, o foco do sistema e o nível de conhecimento do produtor, entre outros. No entanto, de forma geral, os SAFs tendem a oferecer vantagens financeiras devido aos custos mais baixos de implantação e manutenção em comparação com monoculturas (ARAÚJO et al., 2015).

De acordo com esses mesmos autores, um exemplo disso pode ser observado no estado da Bahia, onde um estudo comparativo entre monoculturas de cacau/seringueira e um SAF consorciando essas duas espécies revelou a superioridade financeira deste último sistema em 32,83%. Isso sugere que a combinação de culturas em sistemas agroflorestais pode aumentar a eficiência econômica da agricultura, possivelmente devido ao melhor aproveitamento de recursos, diversificação de produtos e redução de riscos associados a eventos climáticos adversos ou problemas específicos de cultivo.

No entanto, é importante notar que os resultados financeiros podem variar amplamente dependendo das condições locais, das escolhas de manejo e das preferências do produtor. Além disso, os SAF podem proporcionar benefícios não apenas em termos de rendimento financeiro, mas também em aspectos como a resiliência do sistema agrícola, a conservação do solo, a biodiversidade e a segurança alimentar (SILVA et al., 2021).

Portanto, ao avaliar a adoção de sistemas agroflorestais, os agricultores devem considerar não apenas o retorno financeiro, mas também os benefícios

ambientais e sociais associados a esses sistemas, a fim de tomar decisões informadas e sustentáveis. Projetos de conservação ou de recuperação ambiental, por exemplo, devem tentar reproduzir na área desejada, uma situação que seja a mais próxima possível a de um ecossistema natural; ou seja, tentar reproduzir um modelo estável, para que este adquira resistência e resiliência, que lhes garantam a manutenção da sua capacidade produtiva e regenerativa, garantindo aos seus componentes uma condição de equilíbrio e sustentabilidade (SOUZA, 2023b).

Para isso, é necessário que os fluxos de energia dentro desse sistema sejam restabelecidos e mantidos, por meio do mecanismo de ciclagem de nutrientes que é processado com a participação, direta ou indireta, dos diversos organismos que compõem esse determinado ecossistema (SANTOS, 2004; SOUZA, 2022a; 2022b).



Figura 8. SAF com apenas quatro meses de implantação. Em primeiro plano: abacate, guapuruvu, banana e eucalipto. Ao fundo: adubação verde com gliricídia - Ifes Centro Serrano, Santa Maria de Jetibá, ES. Fonte: Acervo Verônica Bispo, 2023.

A implantação de um SAF pode aumentar a biodiversidade local, favorecendo o aumento da capacidade de suporte, em função do aumento da biomassa vegetal e da deposição de material orgânico, que favorecem a vida e a atividade microbiana (Figura 8). Além do mais, o SAF é um notável método de

fixação de carbono tanto na biomassa vegetal, como no solo, auxiliando na geração de serviços ambientais dentro do sistema (SILVA, 2013).

4. Sequestro de carbono

O termo "sequestro de carbono" surgiu como consequência da real necessidade de redução de emissão de gás carbônico na atmosfera. O conceito de sequestro de carbono foi formulado pela conferência de Kyoto em 1997, com o objetivo de conter e reverter o acúmulo de CO₂ na atmosfera e com a intenção de minimizar os impactos ambientais, referentes às mudanças climáticas quanto ao aquecimento global e a elevação dos gases de efeito estufa (JIN et al., 2020).

Sequestrar carbono tem como significado adotar medidas que visem a absorção do excesso de CO₂ da atmosfera, fixando-o, preferencialmente na forma orgânica. A fixação de carbono pode ser realizada por todos os seres fotossintetizantes (OHSE et al., 2007).

Existem dois tipos de sequestro de carbono: o direto e indireto. O sequestro de carbono direto é também conhecido como sequestro de carbono artificial ou geológico do carbono, resultante da separação e captura do CO₂ gerados em processos industriais e em processos relacionados à geração ou consumo de energia. No sequestro de carbono indireto, o CO₂ atmosférico é removido por processo natural, em que o CO₂ é absorvido pela fotossíntese e integrado no corpo da planta formando a biomassa do vegetal durante seu crescimento (WILBERFORCE et al., 2019) (Figuras 9 e 10).



Figuras 9 e 10. Projeto de recuperação apoiado pelo “Programa Reflorestar”: A) Área sob o cultivo de feijão em 2019; B) SAF em 2023. Fonte: Acervo Guilherme Trugilho, 2023.

As florestas plantadas desempenham um papel significativo na mitigação das mudanças climáticas, pois atuam como importantes aliadas no sequestro de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera. As áreas cobertas por florestas plantadas geralmente apresentam concentrações menores de CO₂ em comparação com áreas de baixa densidade vegetal. Esse fenômeno pode ser explicado pelo processo de fotossíntese que ocorre nas plantas presentes nessas florestas, onde o CO₂ atmosférico é absorvido e convertido em oxigênio e biomassa vegetal (GIZACHEW, 2016).

O sequestro de carbono por meio da fotossíntese é essencial para a redução das concentrações de CO₂ na atmosfera, contribuindo para limitar o aquecimento global e as mudanças climáticas. Além disso, florestas plantadas podem servir como estoques de carbono, armazenando carbono nas árvores, no solo e na biomassa, ajudando assim a remover CO₂ da atmosfera em longo prazo.

É importante notar que a gestão sustentável das florestas plantadas é fundamental para maximizar seus benefícios na mitigação das mudanças climáticas. Isso envolve a promoção de práticas de manejo que garantam a saúde das árvores, a qualidade do solo e a biodiversidade, ao mesmo tempo em que continuam a absorver e armazenar carbono de maneira eficiente (SOUZA et al., 2023).

Portanto, as florestas plantadas desempenham um papel importante no combate contra as mudanças climáticas, contribuindo para a redução das concentrações de CO₂ na atmosfera e fornecendo uma fonte sustentável de materiais à base de madeira.

Yu (2004) afirma que o sequestro florestal de carbono envolve uma dinâmica em que, de um lado, governos de países e, ou, empresas transnacionais com emissões significativas se comprometem a reduzir suas emissões, conforme estipulado pela Convenção do Clima. Para cumprir esses compromissos de redução, eles financiam projetos de sequestro de carbono, buscando obter créditos de carbono que lhes permitam compensar parte de suas emissões.

Por outro lado, de acordo com esse mesmo autor, existem empresas,

sociedade civil, Organizações Não Governamentais (ONGs) e governos de países em desenvolvimento interessados em hospedar esses projetos de sequestro de carbono. Têm o objetivo de atrair esses recursos financeiros para diversas finalidades, que podem incluir investimentos em conservação florestal, desenvolvimento sustentável e mitigação das mudanças climáticas.

Essa interação entre financiadores e hospedeiros de projetos de sequestro de carbono é parte do mercado de carbono e dos esforços globais para combater as mudanças climáticas. O financiamento de projetos de sequestro de carbono em países em desenvolvimento pode ser uma maneira importante de incentivar a preservação de florestas e o manejo sustentável do solo, contribuindo assim para a redução das concentrações de dióxido de carbono na atmosfera (*ibidem*).

Para esse fim, tem-se adotado o instrumento de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), que apresenta um potencial recurso financeiro aplicado pelo governo no âmbito municipal, capaz de auxiliar os proprietários rurais quanto ao cumprimento da legislação, além de contribuir para o aumento de áreas florestadas.

A dinâmica do Pagamento de Serviços Ambientais (PSAs) consegue influenciar na cadeia de produção e consumo, de maneira a contribuir com uma relação mais harmônica entre o meio ambiente e o sistema econômico, devido a internalização de questões de alocação e conservação do capital natural à máquina econômica (ARAKAKI, 2014).

Entretanto, faz-se necessário valorizar os serviços ambientais para que o pagamento pelo serviço possa acontecer. Como parte desse processo, a valoração do sequestro e estocagem de carbono na biomassa vegetal em sistemas agroflorestais é estratégica para tentar agregar possíveis ganhos adicional aos agricultores que possuem esses agroecossistemas.

4.1. Sistema silvipastoril - SSP

O sistema silvipastoril (SSP) integra, de forma permanente em um mesmo sistema, árvores e pastagens. O SSP auxilia na conservação dos solos e microbacias e, por ser multifuncional, possibilita diversificar a produção. Existem

algumas regras específicas a essa modalidade conforme descrito na Portaria nº 13, de 15 de junho de 2018 (ESPÍRITO SANTO, 2018).

O “Programa Reflorestar”⁴ poderá apoiar, no máximo, a implantação de uma área de cinco hectares dessa modalidade, por projeto, via PSA de curto prazo para a aquisição dos insumos. Os arranjos de SSP deverão ser propostos de modo a incluir pelo menos 300 indivíduos arbóreos por hectare. Além disso, pelo menos 40% dos indivíduos propostos por hectare deverão ser de espécies não madeiráveis (ESPÍRITO SANTO, 2018; TRUGILHO, 2023).

Existem materiais na literatura indicados para auxiliar na elaboração de projetos de SSP, como a cartilha intitulada, “Arborização de Pastagens com Espécies Florestais Madeireiras: Implantação e Manejo”, elaborada pela Embrapa. No planejamento da área, pode-se adotar a recuperação da pastagem com retirada do gado ou o piqueteamento com a presença do gado e as mudas protegidas com cerca convencional ou elétrica (PORFÍRIO-DA-SILVA et al., 2009). As Figuras 11 e 12 demonstram exemplos de implantação nos dois modelos.



Figuras 11 e 12. Modelos de implantação de SSP. A) Remoção do gado do interior da área para o plantio de mudas. B) Cercamento no entorno das mudas para proteção com presença de gado na área. Fonte: Acervo Guilherme Trugilho, 2023.

⁴ O Reflorestar é uma iniciativa coordenada pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEAMA) e tem o Banco de Desenvolvimento do Espírito Santo (Bandes) como agente técnico-financeiro, unindo reflorestamento, fonte de renda para os produtores rurais e a preservação de nascentes.

4.2. O fluxo de carbono

Nas últimas décadas, tem-se testemunhado um aumento significativo nas emissões e nas concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂). Esse aumento está relacionado principalmente ao uso intensivo de combustíveis fósseis, ao desmatamento e às atividades agropecuárias, desequilibrando os ecossistemas e acelerando as mudanças climáticas globais. A implementação de medidas como o reflorestamento e a adoção de sistemas agroflorestais pode desempenhar um papel decisivo na redução desses problemas.

No entanto, é importante observar que, considerando a hipótese de um reflorestamento de 1,9 milhões de hectares por ano, o impacto desse esforço na mitigação das emissões de carbono seria relativamente pequeno (Figura 13). As plantações florestais podem capturar cerca de 12,4 milhões de toneladas de carbono por ano, o que é insignificante quando comparado as 282 milhões de toneladas de carbono por ano gerado pelo desmatamento nos mesmos países. Para atender às necessidades de mitigação, seria necessário um esforço muito maior, com o plantio de aproximadamente 12 milhões de hectares por ano, conforme sugerido por Souza (2018).



Figura 13. Floresta em estágio avançado de regeneração, passível de enquadramento na modalidade FPE (Floresta em pé) pelo “Programa Reflorestar”. Fonte: Acervo Guilherme Trugilho, 2023.

Conforme mencionado por esse mesmo autor, as florestas tropicais úmidas têm uma produtividade primária elevada e contribuem significativamente para o

ciclo global de carbono, principalmente devido à atividade microbiana do solo. Por outro lado, as florestas tropicais secas têm uma circulação de carbono mais baixa, mas podem armazenar grandes quantidades de carbono orgânico no solo, especialmente em profundidades abaixo de 1 metro. As mudanças climáticas estão causando perturbações nos ciclos biogeoquímicos, em parte devido ao desmatamento descontrolado.

Em resumo, o reflorestamento e a implementação de práticas de uso sustentável da terra são importantes para mitigar as mudanças climáticas, mas para alcançar um impacto significativo, é necessário um esforço de grande escala e uma abordagem multifacetada que inclua a redução do desmatamento e a promoção da conservação florestal em conjunto com o reflorestamento e a restauração de ecossistemas.

5. Fomento florestal

Conforme a definição da FAO (2015), florestas plantadas são áreas predominantemente compostas por árvores, que podem ser de espécies nativas ou exóticas, sendo estabelecidas por meio de plantio ou semeadura intencional. No contexto brasileiro, o país representa 2,67% do total das plantações florestais globais; no período de 1990 a 2010, expandiu sua área a uma taxa média anual de 1,8%, ligeiramente abaixo da média mundial de 2,1%. Entretanto, é importante notar que, no Brasil, as plantações florestais tiveram o segundo menor aumento em ocupação entre os anos de 1970 e 2006, superando apenas as áreas de pastagens nativas, que experimentaram uma redução em sua extensão.

Existem evidências sólidas que sustentam a conexão entre florestas plantadas e a prestação de serviços e benefícios ambientais, integrados em uma paisagem multifuncional. A conversão da vegetação natural em pastagens resulta em uma redução significativa na capacidade de fornecimento de serviços ambientais. Por outro lado, a conversão de pastagens em plantações florestais tende a aumentar a prestação de diversos serviços ambientais (OLIVEIRA et al., 2017a).

No Brasil, em 2014, aproximadamente 17,8 mil famílias foram beneficiadas

por programas de estímulo ao plantio florestal, muitas delas empregando sistemas agroflorestais (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2015).

Os programas de incentivo ao plantio florestal são iniciativas que estabelecem parcerias entre empresas da indústria de base florestal, e pequenos e médios agricultores. Seu objetivo primordial é integrar esses agricultores à cadeia produtiva do setor de árvores plantadas, oferecendo apoio para o cultivo de espécies como eucalipto e pinus, principalmente destinadas a usos industriais.

A essência do fomento florestal é fornecer assistência técnica e orientação aos produtores rurais, de acordo com as necessidades específicas de cada um. Isso pode envolver o cultivo de árvores de madeira de forma integrada com outras atividades agrícolas, como lavoura, pecuária, produção de mel, ou até mesmo a diversificação por meio do plantio de diferentes espécies florestais.

Esses programas visam não apenas promover a geração de renda para os agricultores, mas também garantir a sustentabilidade ambiental, incentivando práticas de manejo responsáveis que contribuam para a preservação dos ecossistemas locais. Eles representam uma importante estratégia para o desenvolvimento sustentável, unindo os interesses dos agricultores com as necessidades da indústria florestal e a conservação dos recursos naturais.

De acordo com Gomes (2022), o Instituto Estadual de Florestas (IEF), ao longo de seus 60 anos de existência, desempenha um papel crucial na conservação e recuperação de ecossistemas por meio do Programa de Fomento Florestal, que visa promover o desenvolvimento florestal sustentável através de três modalidades distintas: Fomento Florestal Ambiental, Fomento Florestal Socioambiental e Fomento Florestal Social.

De acordo com essa mesma autora em 2022, o IEF celebrou seis décadas de seu programa de fomento florestal. No período de 2019 a 2021, por meio das modalidades de Fomento Ambiental e Socioambiental, foram realizados esforços significativos de restauração e conservação, cobrindo uma área total de 5.709,84 hectares. Essa área foi distribuída da seguinte forma: 3.535,70 hectares em 2019, 408,19 hectares em 2020 e 1.765,95 hectares em 2021.

Além de coordenar iniciativas de conservação e restauração ambiental em

colaboração com diversos parceiros, como órgãos públicos, organizações do terceiro setor e agricultores, o IEF também oferece assistência técnica por meio de suas Unidades Regionais de Florestas e Biodiversidade (URFBio). Essa assistência engloba orientações na implementação de projetos de restauração, disponibilização de mudas de espécies nativas, frutíferas e exóticas, além de outros recursos, com o objetivo de auxiliar os agricultores interessados na recuperação e regularização de áreas em suas propriedades (GOMES, 2022).

De acordo com essa mesma autora, durante os anos de 2019 a 2021, um total de 1.021.299 mudas foram produzidas, com 206.413 mudas em 2019, 400.897 em 2020 e 413.989 em 2021. A diretora-geral do IEF, Maria Amélia Mattos Lins, destacou que a restauração de ecossistemas por meio do fomento florestal é uma das principais ações para mitigar os impactos das mudanças climáticas.

Aqui estão detalhadas as modalidades dos programas de fomento (GOMES, 2022):

- **Fomento Florestal Ambiental:** este programa busca recuperar ou restaurar a vegetação nativa em áreas alteradas ou degradadas, com ênfase na geração de serviços ecossistêmicos e na proteção da biodiversidade.

- **Fomento Florestal Socioambiental:** visa a recuperação da vegetação nativa ou o reflorestamento, criando ambientes que conciliam interesses de conservação e uso econômico. Essa modalidade pode ser aplicada em áreas de Reserva Legal (RL) e em Áreas de Preservação Permanente (APPs) de acordo com a legislação vigente.

- **Fomento Florestal Social:** tem como objetivo o reflorestamento associado ao potencial econômico, com foco na ampliação de renda no meio rural, seguindo critérios estabelecidos pela legislação.

O IEF mantém 50 viveiros florestais em todo o estado para fornecer mudas e realizar atividades de identificação, seleção e beneficiamento de sementes de espécies nativas, além de promover a educação ambiental (GOMES, 2022).

Segundo essa mesma autora, desde a implementação do "Novo Código Florestal" e da Lei de Proteção à Biodiversidade em Minas Gerais, as ações de fomento são alinhadas com o Programa de Regularização Ambiental (PRA) e

seu componente, o Cadastro Ambiental Rural (CAR). O Fomento Florestal está integrado ao Plano Mineiro de Desenvolvimento Integrado (PMDI), que inclui metas para a promoção e proteção dos ecossistemas.

Outras iniciativas importantes incluem o Programa Bolsa Verde, que oferece pagamento por serviços ambientais a proprietários rurais que preservam ou restauram áreas de vegetação nativa, e o Projeto Conexão da Mata Atlântica, financiado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente, que visa a recuperação de ecossistemas na região do Corredor Sudeste da Mata Atlântica (*ibidem*).

Além disso, o Plano Estadual de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica estabelece diretrizes para proteger essa região e suas diversas ações incluem a proteção da fauna, criação de unidades de conservação, combate a incêndios florestais, monitoramento florestal, fiscalização ambiental e muito mais (*ibidem*).

O IEF desempenha um papel fundamental na promoção da conservação e recuperação de ecossistemas em Minas Gerais, contribuindo significativamente para a proteção do meio ambiente e a mitigação das mudanças climáticas (Figura 9).



Figura 9. Entre 2019 e 2021, foram produzidas 1.021,299 mudas nos viveiros do IEF. Fonte: Evandro Rodney.

Esses sistemas oferecem oportunidades para restaurar a fertilidade do solo, introduzir adubos verdes, controlar pragas e plantas invasoras, bem como diversificar a produção agrícola. Além disso, contribuem para uma maior estabilidade na oferta de produtos ao longo do ano, o que beneficia a produção de alimentos, a colheita de madeira e o cultivo de plantas medicinais.

O cultivo de árvores em associação com culturas agrícolas e atividades pastoris tem se revelado uma maneira eficaz de aproveitar os benefícios proporcionados pelos elementos arbóreos na agricultura. Nos sistemas pecuários, por exemplo, essa prática pode aumentar a produção de carne e leite em cerca de 20%. Além disso, essa integração complexa do ambiente pecuário, do ponto de vista biológico, melhora o bem-estar animal e aumenta a competitividade da pecuária nacional (OLIVEIRA et al., 2017b).

Entre os instrumentos legais promovidos pelo Estado, dois se destacam: o Plano Nacional de Florestas, que, em seu Artigo 2º, Inciso II, visa "estimular atividades de reflorestamento, especialmente em pequenas propriedades rurais" (BRASIL, 2006; ROCHA; SILVA, 2009); e a Política Agrícola para Florestas Plantadas, que, em seus Itens IV e V, busca "a melhoria da renda e qualidade de vida no meio rural, principalmente em pequenas e médias propriedades rurais" e "a promoção da integração entre produtores rurais e agroindústrias que utilizam madeira como matéria-prima" (BRASIL, 2014).

Esses instrumentos legais reforçam a importância dos agricultores na construção do setor florestal, especialmente no contexto das florestas plantadas destinadas a atender a cadeia de produção das indústrias. As indústrias têm buscado parcerias com produtores rurais por meio de contratos para atender à crescente demanda por madeira (ROCHA; SILVA, 2009; SOUZA et al., 2009; CORDEIRO et al., 2010).

Em resumo, quando a indústria estabelece um contrato com o produtor rural, isso resulta na integração desse produtor à sua cadeia de produção. Esse processo é conhecido no setor florestal como fomento florestal: embora possa receber nomes semelhantes, seu objetivo primordial é duplo: promover o desenvolvimento da silvicultura pelo produtor rural e garantir o fornecimento de matéria-prima para a indústria (PAIVA, 2007; SOARES et al., 2007; FISCHER, 2009; CORDEIRO et al., 2010).

Dentro do fomento florestal, a atividade de silvicultura é desenvolvida na propriedade do produtor rural, o qual pode empregar sua própria mão de obra nesse processo. Para a empresa, essa parceria representa uma estratégia eficaz para assegurar o suprimento contínuo de madeira. No contexto do setor de celulose, uma parte significativa da matéria-prima é proveniente das plantações das próprias indústrias, enquanto a outra parte é obtida por meio de parcerias estabelecidas com produtores rurais, que passam a integrar a cadeia produtiva dessas empresas (AQUINO, 2013).

6. Considerações

Considerando o atual cenário socioambiental, marcado pela acentuada degradação dos solos devido ao uso inadequado, notadamente o monocultivo, torna-se cada vez mais evidente a imperatividade de adotar medidas que fomentem o reflorestamento. Essas ações têm como meta não apenas promover melhorias na qualidade ambiental, mas também gerar benefícios sociais por meio da implementação de práticas agropecuárias sustentáveis.

As políticas públicas desempenham um papel de destaque na promoção do desenvolvimento sustentável, oferecendo diretrizes e incentivos necessários para alinhar as atividades rurais com as metas socioambientais. Um exemplo notável é o apoio ao sequestro de carbono e ao fomento florestal, medidas que vão além de simplesmente proporcionar uma fonte de renda adicional para os agricultores. Elas também desempenham um papel vital na regeneração dos ecossistemas e na garantia do fornecimento sustentável de produtos madeireiros.

A iniciativa de sequestro de carbono, por exemplo, contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, mitigando os impactos das mudanças climáticas. Além disso, o fomento florestal não apenas ajuda a suprir a demanda por produtos derivados da madeira, mas também promove a conservação da biodiversidade e a restauração de áreas degradadas.

É importante ressaltar que o sucesso dessas políticas depende da integração de práticas agropecuárias sustentáveis com a adoção de tecnologias adequadas e da conscientização das comunidades rurais. Nesse sentido, o

desenvolvimento e a promoção de tecnologias sustentáveis desempenham um papel fundamental para garantir que as atividades agropecuárias sejam conduzidas de maneira ecologicamente responsável.

Por meio de parcerias estratégicas entre governos, organizações não governamentais e a sociedade civil, é possível criar um ambiente propício para a implementação eficaz dessas políticas públicas, contribuindo assim para um futuro mais sustentável, onde a qualidade ambiental e os ganhos sociais são equilibrados de forma harmoniosa.

7. Referências

AQUINO, S. L. de. Estratégias empresariais e efeitos locais: a integração de pequenos agricultores à indústria fabricante de papel e celulose. **Revista IDEAS**, Rio de Janeiro, v. 7, p. 158-17, 2013.

ARAKAKI, K. K. **Valoração econômica dos serviços ambientais prestados pelo sistema de integração lavoura-pecuária-floresta**: uma análise de um experimento de longa duração da Embrapa gado de corte. 2014. 62 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócios). Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2014.

ARAÚJO, A. C. et al. Análise financeira do sistema agroflorestal cacauero com seringueira na mesorregião sul baiano. **Agrotropica (Brasil)**, v. 27, n. 1, p. 15-18, 2015.

ARRAES, R. de A.; MARIANO, F. Z.; SIMONASSI, A. G. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 50, p. 119-140, 2012.

ASNER, G. P.; BROADBENT, E. N. Improving the measurement of tropical forest carbon stocks using airborne laser scanning. **Carbon Balance and Management**, v. 12, n. 1, p. 11-39, 2017.

ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; CORDEIRO, L. A. M.; EVANGELISTA, B. A. Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (Ed.). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília: Embrapa, p. 153-167, 2019.

BRASIL. **Decreto nº 5.975, de 30 de novembro de 2006**. Regulamenta, entre outras coisas, o uso de matéria-prima florestal por empresas. Diário Oficial da União, Rio de Janeiro, 1º de dez. 2006.

BRASIL. **Decreto nº 8.375, de 11 de dezembro de 2014.** Define a política agrícola para floresta plantadas. Diário Oficial da União, Rio de Janeiro, 12 dez. 2014.

BRASIL. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono).** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República – Brasília: MAPA/ACS, 2012. 173 p.

CASTRO, E. Dinâmica socioeconômica e desmatamento na Amazônia. **Novos Cadernos NAEA**, v. 8, n. 2, p. 5-39, Pará. 2005.

CHOMITZ, K. M. Em desacordo? Expansão Agrícola, Redução da Pobreza e Meio Ambiente nas Florestas Tropicais. **Relatório do Banco Mundial**, 2007. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/INTTROPICALFOREST/Resources/2463822/PTpt_Main_Low_with_cover_portuguese.pdf. Acesso em: 18 maio 2018.

CORDEIRO, S. A.; SILVA, M. L. da; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R.; ROCHA, J. L.; SOARES, N. S. Contribuições do fomento do órgão Florestal de Minas Gerais na lucratividade e na redução de riscos para produtores rurais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 267-76, 2010.

COSTA, F. A. Contributions of fallow lands in the Brazilian Amazon to CO2 balance, deforestation and the agrarian economy: inequalities among competing land use. **Elementa: Science of the Anthropocene**, v. 4, n. 133, p. 1-23, 2016. DOI: 10.12952/journal.elementa.000133. Disponível em: <https://www.elementascience.org/articles/10.12952/journal.elementa.000133/>. Acesso em: 18 set. 2023.

COSTA, F. A. Mercado de terras e trajetórias tecnológicas na Amazônia. **Economia e Sociedade**, v. 21, n. 2, p. 245-273, 2012.

ESPÍRITO SANTO. **Portaria nº 013-R, de 15 de junho de 2018.** Diário Oficial dos Poderes do Estado, Vitória, ES, 20 de junho de 2018, p. 16-18.

FAO - Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação. **Global forest resources assessment FRA 2015: how are the world's forests changing?** Rome, 2015. 46 p.

FEIJÓ, F. T.; PORTO JR., S. S. Protocolo de Quioto e o Bem-Estar Econômico no Brasil: Uma análise utilizando equilíbrio geral computável. **Análise Econômica**. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2008. Disponível em: <http://www.bancodonordeste.com.br/content/aplicacao/Eventos/ForumBNB2007/docs/protocolo-de-quioto.pdf>.

FERREIRA-ALVES, E. S.; RAYOL, B. P.; SOUZA, J. R. M. de; AMBROSIM, J. F.; NOVAES SOUZA, M. Levantamento socioeconômico e experiências agroecológicas das mulheres ribeirinhas nos quintais da Ilha Saracá, Limoeiro

do Ajuru, estado do Pará. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. VI. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2023. p. 226-244. ISBN: 978-65-84548-14-5. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-14-5.c8>

FISCHER, A. O fomento na indústria de base florestal. **Informe Gepec.**, Toledo, PR, v. 13, n. 2, p. 6-19, 2009.

GAYATHRI, R.; MAHBOOB, S.; GOVINDARAJAN, M.; GHANIM, K. A.; AHMED, Z.; MULHM, N.; VIJAYALAKSHMI, S.. A review on biological carbon sequestration: A sustainable solution for a cleaner air environment, less pollution and lower health risks. **Journal of King Saud University-Science**, Riade, v. 2, p. 33, 2021.

GIBBS, H. K., RAUSCH, L., MUNGER, J., SCHELLY, I., MORTON, D. C., NOOJIPADY, P.; WALKER, N. F. Brazil's Soy Moratorium. **Science**, v. 347, n. 6220, p. 377-378, 2015.

GIZACHEW, B.; SOLBERG, S.; NÆSSET, E. et al. Mapping and estimating the total living biomass and carbon in low-biomass woodlands using Landsat 8 CDR data. **Carbon Balance Manage**, v. 11, n. 13, 2016.

GOMES, W. **Programa de Fomento Florestal do IEF avança recuperação e conservação de ecossistemas em Minas**. 2022. Disponível em: <https://60anos.ief.mg.gov.br/programa-de-fomento-florestal-do-ief-avanca-recuperacao-e-conservacao-de-ecossistemas-em-minas/>. Acesso em: 23 set. 2023.

GÖTSCH, Ernst. **O renascer da agricultura**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1996.

GURGEL, Â. C.; COSTA, C. F.; SERIGATI, F. C. **Agricultura de baixa emissão de carbono: a evolução de um novo paradigma**. Centro de Agronegócio da Escola de Economia de São Paulo, 2013.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. IBÁ 2015. **Relatório anual 2014**. Brasília, DF, 2015. 61 p.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom and New York. p. 1454, 2014.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group VI to the Eleventh Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom and New York. p. 1454, 2022.

IRINEU N. S. O. **Dimensões da agroecologia na produção e comercialização de agricultores familiares no Distrito Federal e Área Metropolitana**. Brasília: Companhia de Planejamento do Distrito Federal, 2018. (Texto para Discussão).

JIN, L. U.; YUANYUAN, Y. I.; JINTAO, X. U. Forest carbon sequestration and China's potential: the rise of a nature based solution for climate change mitigation. **China Economic Journal**, v. 13, p. 200-222, 2020.

LEVIN, I. Earth science: The balance of the carbon budget. **Nature**, v. 488, n. 7409, p. 35-36, 2012. <https://doi.org/10.1038/488035a>

LISIN, A. Biofuel Energy in the Post-oil Era. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 10, n. 2, p. 194-199, 2020. DOI: <https://doi.org/10.32479/ijeep.8769>

MANZATTO, C. V.; ARAUJO, L. S.; VICENTE, L. E.; VICENTE, A. K.; PEROSA, B. B. Monitoramento da mitigação das emissões de carbono na agropecuária. **Agroanalysis**, v. 38, n. 3, p. 26-29, 2018.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura**. 2012.

MARTINS, M. C.; ROMARCO, M. L.; SOUZA, M. N. Uma análise da implantação da integração lavoura pecuária floresta (ILPF) na microrregião de Viçosa, Minas Gerais. **Boletim de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Extensão Rural da UFV**, v.4, p.154-163, 2013.

MARTINS, M. C.; SOUZA, M. N. Uma análise das variáveis do desenvolvimento rural sustentável no uso da Integração Lavoura Pecuária e Floresta (ILPF) em municípios da Zona da Mata de Minas Gerais. Multifuncionalidades sustentáveis no campo: **Agricultura, pecuária e florestas**, v.5, p.10-15, 2013. Disponível em: <http://www.simbras-as.com.br>.

MAY, P. H. et al. Sistemas agroflorestais e reflorestamento para captura de carbono e geração de renda. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA - ECOECO, 6, 2005, Brasília. **Anais... VI ECOECO**, 2005.

MIKHAYLOV, A; MOISEEV, N.; ALESHIN, K.; BURKHARDT, T. **Mudanças climáticas globais e efeito estufa**. Empreender. Sustentar. Edições 7, n. 4, p. 2897, 2020.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; OLIVEIRA, E. B. de. Importância do setor florestal brasileiro com ênfase nas plantações florestais comerciais. cap. 1 In: OLIVEIRA, Y. M. M. de; OLIVEIRA, E. B. de (Ed.). **Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

MOREIRA, J. T. **Agricultura de baixo carbono no Brasil rural: análise das iniciativas institucionais para estados e municípios do bioma cerrado**. Brasília, 2019. 89 p. Dissertação. Universidade de Brasília.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Análise das emissões de GEE Brasil (1970-2014) e suas implicações para políticas e a contribuição brasileira para o acordo de Paris**. 2016. Disponível em: <https://seeg.eco.br/documentos-analiticos>. Acesso em: 23 fev. 2022.

OHSE, S.; DERNER, R. B.; OZÓRIO, R. A.; CUNHA, P. C. R.; LAMARCA, C. P.; SANTOS, M. E.; MENDES, L. B. B. Revisão: Sequestro de carbono realizado por microalgas e florestas e a capacidade de produção de lipídios pelas microalgas. **INSULA**, Florianópolis/SC, n. 36, p. 39-74, 2007.

OLIVEIRA, C.; REPOSSI, B. F.; FERRI, A. G.; SILVA, G. P. DA; VARDIERO, L. G. G.; TRUGILHO, G. A.; RANGEL, D. S.; LOUBACK, G. C.; SILVEIRA, L. F. V.; SOUZA, M. N. Conservação e recuperação de Áreas de Preservação Permanente. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. III. – Canoas, RS: Mérida Publishers. p. 114-136. 2022. <http://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-04-6.c3>

OLIVEIRA, E. B. de; OLIVEIRA, Y. M. M. de; SCHAITZA, E. G. Plantações florestais comerciais e a biodiversidade. cap. 4 In: OLIVEIRA, Y. M. M. de; OLIVEIRA, E. B. de (Ed.). **Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. Brasília, DF: Embrapa, 2017a.

OLIVEIRA, Y. M. M. de; OLIVEIRA, E. B. de. Plantações florestais, resultados: indicadores de sustentabilidade no setor florestal. Cap. 10. In: OLIVEIRA, Y. M. M. de; OLIVEIRA, E. B. de (Ed.). **Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. Brasília, DF: Embrapa, 2017b.

PAIVA, N. S. V. **Contornos jurídicos e matrizes econômicas dos contratos de integração vertical agroindustriais no Brasil**. UC Berkeley: Berkeley Program in Law and Economics, 2007.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MEDRADO, M. J. S.; NICODEMO, M. L. F.; DERETI, R. M. **Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras: implantação e manejo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2009.

ROCHA, J. das D. de SÁ; SILVA, J. de A. As funções de Estado na área florestal: suas interrelações com a constituição federal e com o Programa Nacional de Florestas. **Florestas**, Curitiba, v. 39, n. 2, p. 253-71, abr./jun. 2009.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 184 p. 2004.

SCHWEITZER, H.; AALTO, N. J.; BUSCH, W.; CHAN, D. T. C.; CHIESA, M.; ELVEVOLL, E. O. Biotecnologias inovadoras de captura de carbono por meio de soluções inspiradas em ecossistemas. **One Earth**, v. 4, n. 1, p. 49-59, 2021.

SEEG - **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970 – 2020** 9º edição do SEEG, 2021.

SILVA, J. M. V. O.; SOUZA, M. N. **Produção de café orgânico: práticas agroecológicas conservacionistas e novas tecnologias disponíveis ao produtor rural**. Novas Edições Acadêmicas: Beau Bassin, Mauritius, 2021. 72p. ISBN: 978-620-2-80825-2

SILVA, J. M. V. O.; SOUZA, M. N.; RANGEL, O. J. P.; FORNAZIER, M. L.; LOUBACK, G. C.; PIROVANI, G.; SIQUEIRA, C. B. **Sistemas agroflorestais**

(SAFs) e a cafeicultura. In: Produção de café orgânico: práticas agroecológicas conservacionistas e novas tecnologias disponíveis ao produtor rural. 1 ed. Meidrum Street, Mauricius: Novas Edições Acadêmicas, 2021, v.1, p. 40-50.

SILVA, S. M. **Quantificação de carbono de um sistema agroflorestal em área de cerrado no Brasil Central.** Monografia (Graduação em Gestão Ambiental). Universidade de Brasília, Planaltina, DF, 2013. 58 p.

SOARES, N. S.; VALVERDE, S. R.; SILVA, M. L. da; JACOVINE, L. A. G.; SILVA JUNIOR, A. G. da; LÍRIO, V. S. Determinantes do sucesso e fracasso de um contrato futuro da madeira de reflorestamento no Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 76, p. 91-102, 2007.

SOUZA, I. I. de M.; ARAÚJO, E. da S.; JAEGGI, M. E. P. C.; SIMÃO, J. B. P.; ROUWS, J. R. C.; SOUZA, M. N. Effect of Afforestation of Arabica Coffee on the Physical and Sensorial Quality of the Bean. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 42, n. 7, p. 133-143, 2020.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** Vol. III. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2022a. 347 p. ISBN: 978-65-84548-04-6. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-04-6>.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** Vol. VI. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2023b. 322 p. ISBN: 978-65-84548-14-5. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-14-5>.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** Vol. V. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2023a. 348 p. ISBN: 978-65-84548-12-1. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-12-1>.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** Vol. IV. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2022b. 304 p. ISBN: 978-65-84548-10-7. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-10-7>.

SOUZA, M. N. **Avaliação das condições nutricionais dos solos e o sequestro de carbono nos sistemas agroflorestais através da utilização de modelos de crescimento de florestas.** Viçosa, MG, setembro, 2003. 143 p.

SOUZA, M. N. **Mudanças no uso do solo e da água e a gestão dos recursos naturais.** Frankfurt, Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015, v. 5000. 376 p.

SOUZA, M.; NASCIMENTO, P. de O.; MONTEIRO, R. J.; TRUGILHO, G. A.; MOREIRA, M. F.; LOUBACK, G. C.; CRESPO, A. M.; PERON, I. B.; COSTA, W. M. da; FIGUEIREDO, J. S. M. Revegetação, matéria orgânica e a sustentabilidade nos procedimentos de recuperação de solos degradados. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** Vol. VI. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2023. p. 72-93. ISBN: 978-65-84548-14-5. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-14-5.c2>

SOUZA, U. R. de S.; SILVA, F. L. da; GRIFFITH, J. J.; LIMA, J. E. de; QUINTELA, M. C. A.; COSTA, C. V. Determinantes dos novos contratos de fomento florestal

na mesorregião do Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 2, p. 377-96, 2009.

TELLES, T. S., VIEIRA FILHO, J. E. R., RIGHETTO, A. J.; RIBEIRO, M. R. **Desenvolvimento da agricultura de baixo carbono no Brasil (nº 2638)**. Texto para Discussão (2021).

TRUGILHO, G. A. **Contribuições do “Programa Reflorestar” para intervenções conservacionistas e produtivas em propriedades rurais do Espírito Santo**. Dissertação (Mestrado em Agroecologia do Ifes campus de Alegre). 2023. 73 p.

VINHOLIS, M. D. M. B.; SAES, M. S. M.; CARRER, M. J.; SOUZA FILHO, H. M. de. The effect of meso-institutions on adoption of sustainable agricultural technology: A case study of the Brazilian Low Carbon Agriculture Plan. **Journal of Cleaner Production**, n. 280, p. 124-334, 2020.

WILBERFORCE, T.; BAROUTAJI, A.; SOUDAN, B.; ALAMI, A. H.; OLABI, A. G. Outlook of carbon capture technology and challenges. **Science of the total environment**, v. 657, p. 56- 72, 2019.

YU, C. M. **Sequestro florestal de carbono no Brasil – Dimensões políticas socioeconômicas e ecológicas**. 2004. 279 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.