

***O carbono no contexto dos  
serviços ecossistêmicos e serviços  
ambientais da Amazônia***



Foto: Sérgio Gomes Tôsto

Sérgio Gomes Tôsto  
Cristiaini Kano  
Angelo Mansur Mendes  
Lauro Rodrigues Nogueira Júnior  
Lauro Charlet Pereira  
Marco Antonio Ferreira Gomes



## Introdução

As florestas, especialmente as da Amazônia Brasileira, desempenham várias funções que agem como solução contra a crise climática e da biodiversidade (Joly et al., 2019). Além de estocar carbono, têm a função de regular o clima, levando umidade para outras regiões do País, e abrigam grande biodiversidade, que, quando conservada, é um grande laboratório que pode proporcionar descobertas de princípios ativos naturais, os quais, quando sintetizados, podem contribuir para a cura de doenças e para evitar a proliferação de doenças zoonóticas, transmitidas de animais para humanos, evitando pandemias crônicas em populações de humanos. Sob o ponto de vista socioeconômico, oferece oportunidades de envolvimento de comunidades locais, para que desenvolvam atividades econômicas de baixo impacto ambiental que proporcionem aos seus habitantes renda extra, importante para a sobrevivência em regiões remotas e de difícil acesso.

Pesquisas mostram que a Amazônia é um ecossistema altamente vulnerável ao clima global, que controla o ciclo hidrológico, a chuva sobre a própria Amazônia e o Sul do Brasil, e que, ainda, armazena quantidade enorme de carbono. A ciência estima que a Bacia Amazônica abrigue cerca de 16 mil espécies de plantas arbóreas que contribuem significativamente para um estoque magnífico de carbono (Ter Steege, 2017).

As florestas, dentre outros benefícios, prestam um serviço ecossistêmico de captura e fixação do carbono na madeira e nos demais componentes da biomassa, evitando a sua liberação para a atmosfera. Por isso, a proteção da floresta é necessária, para garantir de forma duradoura os serviços ecossistêmicos que têm sido utilizados para designar os bens e serviços oferecidos pelos ecossistemas ao homem (Nobre, 2001).

Nesse contexto, o objetivo deste capítulo é apresentar informações sobre o carbono e sua importância ambiental, o carbono no solo, em ecossistema florestal, em ambientes agrícolas e no contexto dos serviços ecossistêmicos e serviços ambientais na Amazônia, para auxiliar na divulgação do tema principalmente para os agricultores locais.

## O carbono e sua importância ambiental

As plantas fazem fotossíntese utilizando o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) encontrado na atmosfera para fixar o carbono em suas estruturas e eliminar o oxigênio necessário para todas as formas de vida. Além disso, o gás carbônico é considerado um dos mais importantes gases de efeito estufa (GEEs).

A concentração de GEEs — como dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, clorofluorcarbonetos, hidrofluorcarbonetos, perfluorocarbonos e hexafluoreto de enxofre — na atmosfera da Terra vem aumentando significativamente nas últimas décadas, como consequência das atividades econômicas (Brasil, 2017). No Brasil, os desmatamentos e as queimadas (Figura 1) respondem por 75% das emissões de  $\text{CO}_2$ , enquanto a utilização de combustíveis pela indústria e pelo transporte responde por 25% (Marcovitch, 2006).

As ações antrópicas (Figura 2) também contribuem para o aumento do aquecimento global, devido principalmente à liberação de carbono, metano e óxido nitroso, que promovem eventos extremos e, conseqüentemente, impactam a disponibilidade dos recursos naturais em âmbito global e regional (Marengo, 2015).

Foto: Sérgio Gomes Tósto



**Figura 1.** Área desmatada e queimada na Bacia Hidrográfica do Igarapé Preto, município de Machadinho d'Oeste, RO.

Foto: Sérgio Gomes Tósto



**Figura 2.** Desmatamento de floresta para plantio de soja na Bacia Hidrográfica do Igarapé Abacaxi, Machadinho d'Oeste, RO.

Segundo o Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) é muito provável que a elevação da temperatura média global verificada nos últimos anos tenha sido causada principalmente pelo aumento antrópico das concentrações de gases de efeito estufa. Entre os anos de 1880 e 2012 houve um aumento da temperatura média global de 0,85 °C (IPCC, 2015).

O Brasil tem o desafio de reduzir, voluntariamente, suas emissões de GEEs entre 36,1% e 38,9% em relação ao que emitia em 1990. Com a conclusão da 21ª Conferência das Partes (COP) da Convenção sobre a Mudança do Clima e a formulação do Acordo de Paris, em dezembro de 2015, ratificado pelo Brasil em 2016, as perspectivas para políticas de precificação de carbono foram ampliadas e podem ajudar o Brasil a estabelecer uma economia de baixo carbono e alcançar o compromisso assumido (Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável, 2018).

No contexto climático global, dentre as atividades humanas, a histórica mudança no uso e cobertura da terra, com a conversão de áreas de vegetação nativa para áreas de produção agropecuária e florestal, tem sido estimada como uma das principais atividades emissoras de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, especialmente no Brasil (Figuras 3 e 4) (Brazil et al., 2015).



Foto: Sérgio Gomes Tôsto

**Figura 3.** Conversão da floresta para plantio de pastagem na Bacia Hidrográfica do Igarapé Preto, Machadinho d'Oeste, RO.



Foto: Sérgio Gomes Tôsto

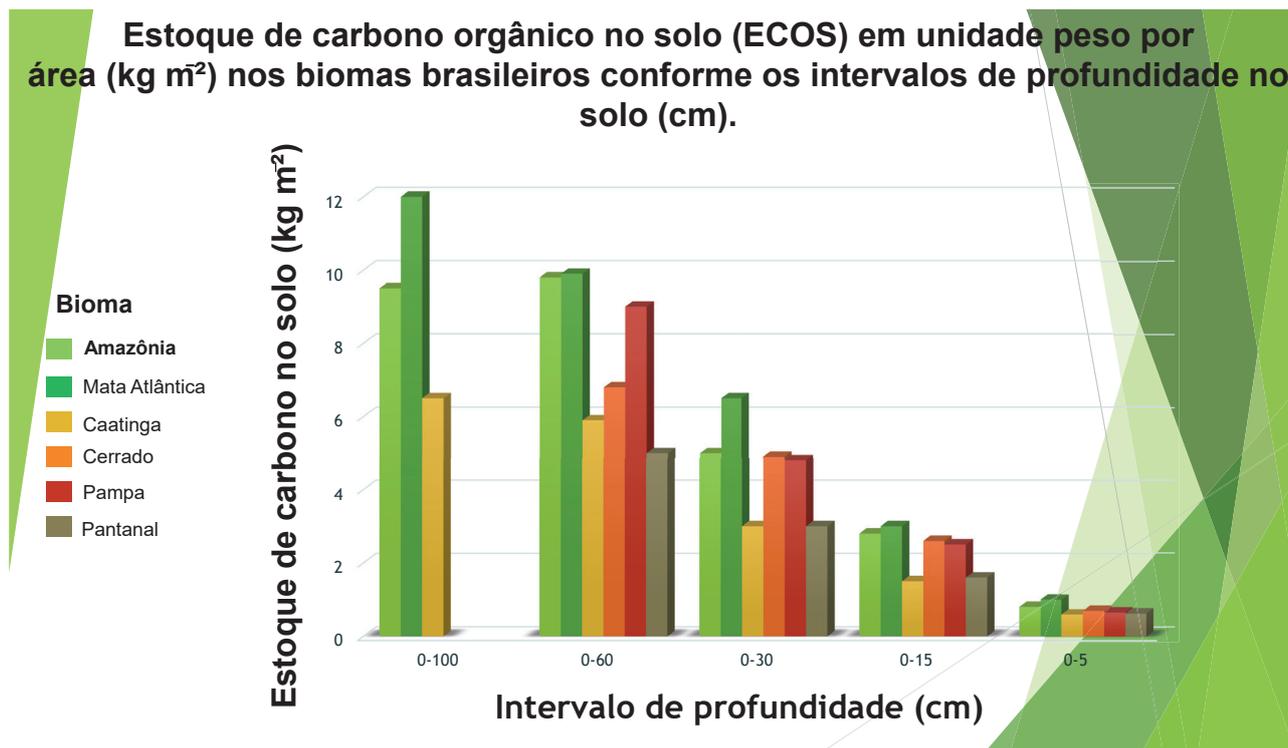
**Figura 4.** Conversão da floresta para plantio comercial de eucalipto na Bacia Hidrográfica do Rio Piririm, Amapá.

## Carbono no solo

O solo é um grande sumidouro de carbono. Entretanto, não existe consenso para a estimativa do estoque de carbono orgânico no solo (ECOS) global, que varia de 504 a 3.000 PgC considerando até 1 m de profundidade (Lal, 2004; Scharlemann et al., 2014).

A estimativa mais recente do ECOS no território brasileiro estima um estoque no solo de 71,3 PgC em 1 m de profundidade. Dentro de cada bioma, há a variação do ECOS por unidade de área em toda extensão do Brasil. No bioma Amazônia, esse valor é superior à soma de todos os demais biomas. Os solos mais profundos, como os Latossolos e Argissolos, obtiveram 24,01 PgC e 17,73 PgC, respectivamente, e representam mais de 57% de todo o ECOS no País (Gomes et al., 2019), enquanto Bernoux et al. (2002) estimaram aproximadamente 36,4 PgC estocados na profundidade de 0–30 cm.

Outro dado importante na estimativa do ECOS por Gomes et al. (2019) é a sua distribuição de forma acumulativa pelos biomas brasileiros (Amazônia, Mata Atlântica, Caatinga, Cerrado, Pampa e Pantanal) conforme o intervalo de profundidade (Figura 5). Na profundidade de 0–30 cm, detém acima de 50% de todo o ECOS dentro da profundidade de 0–100 cm, resultado similar ao obtido por Batjes e Dijkshoorn (1999), que registraram 52% na camada de 0–30 cm, e também Santos et al. (2018), que obtiveram 50% a 56% na camada de 0–30 cm. Considerando os dados de Bernoux et al. (2002), que estimaram apenas na camada de 0–30 cm, esse valor representou 51% em relação ao valor do ECOS estimado por Gomes et al. (2018), que consideram a camada de 0–100 cm. Já Moraes et al. (1995) estimaram 44% do ECOS na camada de 0–20 cm.



**Figura 5.** Estoque de carbono orgânico no solo (ECOS), em unidade peso por área ( $\text{kg m}^{-2}$ ), nos biomas brasileiros conforme os intervalos de profundidade no solo (cm).

Fonte: Gomes et al. (2019).

A comparação entre as estimativas do ECOS em grande escala (mundial, de país e ou região) apresenta resultados discrepantes, conforme Scharlemann (2014), os quais têm sido justificados pelos métodos aplicados, pelo uso de banco de dados distintos (Gomes et al., 2019), de diferentes métodos de classificação da vegetação, de fontes diversas de levantamento de solo, estimativas para densidade do solo e métodos para determinar o carbono no solo (Bernoux et al., 2002).

Por isso, Batjes (2000) concluiu que há necessidade de uso de um banco de dados georreferenciado unificado, como o sistema SOTER, após avaliar os outros bancos de dados como DSMW, WISEZ e OBLER. O SOTER é um banco de dados digital de atributos de solos e terrenos que pode ser utilizado para obter estimativas para densidades e estoques de carbono e nitrogênio do solo em ecossistemas terrestres da região amazônica.

O ECOS do bioma Amazônia foi 36,10 PgC superior ao dos outros biomas brasileiros juntos (35,70 PgC), o que pode ser justificado pela sua extensão, que representa quase a metade do território brasileiro. Entretanto, analisando a densidade, o ECOS por unidade de área (metro quadrado), o bioma Amazônia fica à frente apenas dos biomas Pantanal e Caatinga, e a Mata Atlântica apresenta os maiores valores, independentemente do intervalo de profundidade (camada do solo).

Essa diferença da densidade do ECOS é explicada pelo solo que predomina nos diferentes biomas, e a literatura tem disponibilizado dados, por classe de solo ou subclasse de solo, que permitem entender as diferenças entre biomas ou mesmo áreas, como bacias ou sub-bacias.

Moraes et al. (1995) estimaram, na Bacia Amazônica brasileira, os valores para Latossolos — de 8,49 a 21,65  $\text{kg C m}^{-2}$  —, e para solos podzólicos, atualmente denominados Argissolos — entre 7,58 e 9,51  $\text{kg C m}^{-2}$ . Gomes et al. (2019) estimaram valores médios de densidade do ECOS para Latossolos e Argissolos, de 9,82 e 9,30, respectivamente. Batjes e Dijkshoorn (1999) estimaram

o ECOS para toda a Bacia Amazônica considerando duas camadas de profundidade, 0–30 e 0–100 cm, e verificaram para Ferralsols (classificação da FAO que equivale aos Latossolos) valores de 5,05 e 10,16 kg C m<sup>-2</sup>, respectivamente, e para Acrisols (classificação da FAO que equivale aos Argissolos), valores de 4,40 a 8,47 kg C m<sup>-2</sup>, respectivamente. Esses solos representam quase metade de toda a Bacia Amazônica, que inclui parte de Bolívia, Peru, Colômbia, Venezuela, Guianas e Suriname, além do Brasil.

Portanto, o ECOS no território brasileiro é vulnerável conforme o uso da terra, por estar concentrado nas camadas superficiais e indicar o efeito da cobertura do solo na sua capacidade de ECOS.

Entre os fatores que influenciam o ECOS está o relevo associado à classe de solo, conforme apresentam os dados de Marques et al. (2017), que avaliaram o ECOS em uma topossequência (topo, encosta e baixada), onde identificaram solos como Latossolo, Argissolo e Espodossolo e obtiveram os valores de ECOS de 98,4, 72,6 e 81,4 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, por área em uma camada de 0–200 cm de profundidade no solo. Esses autores ainda fracionaram o ECOS por meio da densidade: o carbono orgânico mais lábil estava na superfície, indicando a importância da necromassa, destacando o papel da serrapilheira e a fragilidade dessa forma de carbono orgânico no solo e a maior susceptibilidade do Espodossolo.

Gomes et al. (2019) concluíram que Latossolos e Argissolos, que representam mais da metade do território nacional, são solos bem intemperizados e profundos. Os solos compreendidos nestas classes podem ser promissores para o ECOS, dependendo do manejo a ser adotado. Por exemplo, Petter et al. (2017) estudaram os efeitos de manejo em Latossolo na região sudoeste do bioma Amazônia, que apresentou taxa de estoque de carbono de 0,2 a 0,12 MgC ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> sob cultivo de soja (verão) seguido de braquiária *Urochloa brizantha* e *Crotalaria juncea*, e apenas na monocultura da soja houve perda do ECOS, em torno de 8 MgC ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Portanto, existe manejo que pode amenizar o efeito do impacto da transformação de floresta em uso agrícola relacionado ao solo. Cerri et al. (2002) utilizaram o sistema de modelagem GEFSOC com as simulações dos modelos Century, RothC e IPCC, visando prever o ECOS entre 2000 e 2030 na camada de 0–20 cm. Esses autores estudaram cenários utilizando dados de desmatamento, taxa de desmatamento e uso agrícola das terras da Amazônia, onde a pastagem apresenta-se em duas situações: pastagem bem manejada, que representa um sumidouro de carbono atmosférico, e pastagem degradada, que representa fonte de carbono atmosférico.

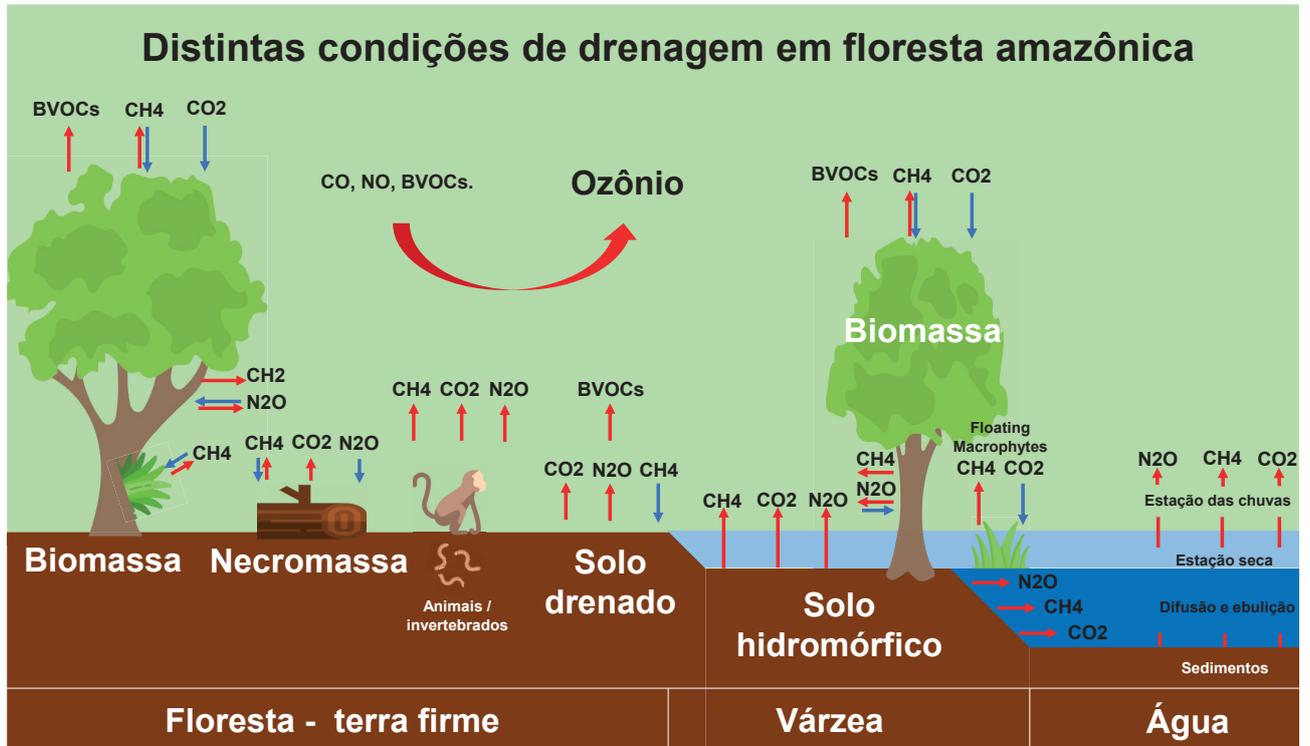
A degradação da floresta leva a redução expressiva de carbono em todos esses compartimentos. Trabalho desenvolvido na Amazônia indicou que, em áreas conservadas, a biomassa viva acima do solo teve maior participação no estoque total de carbono, mas, com a degradação da floresta, o solo foi o compartimento com maior participação no estoque total, apesar de sua drástica redução pela degradação (Zelarayán et al., 2015).

Essa informação possibilita orientar a adoção de políticas públicas que permitirão não só a manutenção dos ecossistemas, mas a garantia de produção sustentável para a região.

## Carbono em ecossistema florestal

O bioma Amazônia representa 49,3% do território nacional (Serviço Florestal Brasileiro, 2019). É caracterizado pela ampla extensão de Floresta Tropical Pluvial sobre solos pobres, em uma intensa rede de rios e igarapés que permite diferenciar distintas condições de drenagem, como áreas permanentes alagadas (lençol freático próximo ou na superfície), áreas sazonalmente alagadas

(várzea e igapó) e áreas não alagadas (terra firme). Esta última condição, terra firme, está presente em cerca de 70% deste bioma (Artaxo et al., 2014) (Figura 6).



**Figura 6.** Distintas condições de drenagem em floresta amazônica.

Fonte: Adaptado de Covery et al. (2021).

Nos ecossistemas florestais, o carbono pode ser armazenado nos compartimentos biomassa viva acima do solo (necromassa e serrapilheira) e biomassa viva abaixo do solo. Assim, entender e quantificar o conteúdo de carbono nesses diferentes compartimentos pode ajudar na obtenção de estimativas mais confiáveis do balanço regional e global de carbono (Caldeira et al., 2008).

## Biomassa acima e abaixo do solo

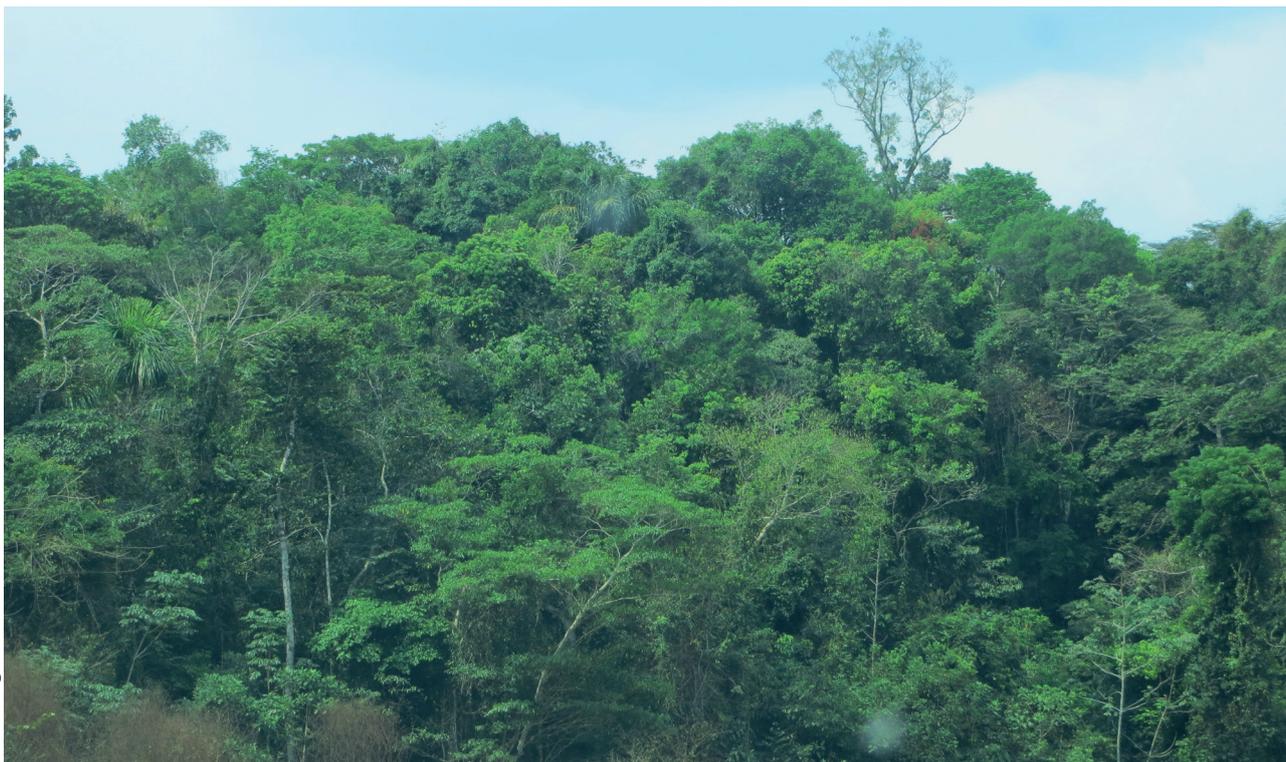
As florestas (Figura 7), dentre outros benefícios, prestam um serviço ecossistêmico de captura e fixação do carbono na madeira e nos demais componentes da biomassa, evitando a sua liberação para a atmosfera.

Estudos indicam que, de maneira geral, as florestas secundárias e as plantações jovens são as que fixam mais carbono. As florestas primárias e as plantações adultas atingem um estágio de equilíbrio quanto à absorção de carbono, mediante a decomposição da madeira morta e as árvores em senescência (Arevalo et al., 2002).

A biomassa da floresta varia de acordo com sua estrutura e relação por unidade de área, além de sua distribuição no espaço e no tempo (Gonçalves, 2018).

A biomassa vegetal viva, devido à sua capacidade de descarbonificar e fixar o carbono, é considerada uma das formas mais eficientes de reduzir as emissões de carbono na atmosfera. Os diferentes tipos de florestas armazenam quantidades diferentes de carbono na biomassa, em função dos diferentes

Foto: Sérgio Gomes Tôsto



**Figura 7.** Floresta Tropical na estrada entre Ariquemes e Machadinho d'Oeste, Rondônia, RO.

estágios de sucessão, idade, regime de manejo, composição de espécies e teor de carbono nos componentes de cada espécie (Sanquetta, 2002).

A classificação da vegetação brasileira no bioma Amazônia apresenta a Região Florística Amazônica como Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Sempre-Verde e Campinarana (IBGE, 2012).

Essas várias fisionomias das florestas no bioma Amazônia têm seus próprios ciclos biogeoquímicos, que se distinguem por suas características ligadas a biodiversidade (composição florística), solos (estrutura e disponibilidade de nutrientes) e hidrologia (disponibilidade de água) (Artaxo et al., 2014).

Essas características das florestas justificam, em parte, a variabilidade das estimativas do estoque carbono na biomassa viva acima do solo na Amazônia. Essa variabilidade foi estudada por Saatchi et al. (2007) e Fearnside (2016). A variação da magnitude está entre 300 e 400 Mg ha<sup>-1</sup>. Valores estimados por Chao et al. (2009), que consideraram apenas a biomassa acima do solo, variaram entre 434,5 e 229,7 Mg ha<sup>-1</sup> na região nordeste do bioma Amazônia.

Em média, a biomassa acima do solo das florestas tropicais na Amazônia foi de 254,8 Mg ha<sup>-1</sup>, com desvio padrão de 103,2 Mg ha<sup>-1</sup> em terra firme, enquanto na floresta na várzea a biomassa acima do solo foi, em média, de 161,3 Mg ha<sup>-1</sup>, com desvio padrão de 101,7 Mg ha<sup>-1</sup> (Saatchi et al., 2007).

Quanto à variação do estoque de carbono, Yang et al. (2021) consideram que a floresta tropical como sumidouro e estoque de carbono é um componente incerto como balanço global de carbono, confirmando os estudos de Saatchi et al. (2007) e Fearnside (2016).

Essa variação da biomassa acima do solo, além de estar relacionada a fatores ambientais, decorre também da utilização de métodos e procedimentos diferentes para a obtenção da estimativa, como a escolha da equação alométrica, para estimar o estoque de carbono nas árvores. Além disso, a não

inclusão da biomassa abaixo do solo e outros exclui outros vegetais (com diâmetro inferior a 10 cm na altura do peito – DAP –) como cipó, lianas, palmeiras, bambu, entre outros (Fearnside, 2016).

Quanto ao estoque de carbono em florestas tropicais maduras ao longo do tempo, espera-se que exista um balanço entre as taxas de perdas (mortalidade) e ganhos (restabelecimento). Entretanto, Nascimento et al. (2013), ao estudarem biomassa acima do solo em florestas tropicais em terras baixas, observaram que o estoque de carbono sofreu redução no decorrer de 11 e 20 anos, destacando a importância de determinar o estoque de carbono na biomassa abaixo do solo e na necromassa, onde a taxa de mortalidade provavelmente foi superior à taxa de regeneração.

Uma forma de avaliar a biomassa abaixo do solo é a relação entre as biomassas (biomassa abaixo/biomassa acima do solo). Cairns et al. (1997), ao revisaram 160 estudos sobre florestas tropicais, temperadas e boreais, obtiveram média de 0,26 e variação de 0,18 a 0,30, não tendo encontrado diferença significativa em relação a latitude, textura do solo e tipo de árvores. Se forem consideradas apenas as florestas tropicais, incluindo florestas secundárias, a média obtida foi de 0,24 com desvio-padrão de 0,14. Nogueira et al. (2008) encontraram valor médio de 0,36 para árvores das florestas tropicais e de 0,12 nos outros tipos de vegetação.

Provavelmente este compartimento seja o mais impreciso na estimativa do estoque de carbono em uma floresta tropical diante da dificuldade de avaliar e causar a destruição das árvores na determinação. Ravindranath e Ostwald (2008) elaboraram as metodologias utilizadas para avaliar a biomassa abaixo solo e concluíram que os métodos razão da raiz e da parte área e equações alométricas seriam os preferidos para programas de inventário do carbono.

## **Necromassa**

O compartimento necromassa refere-se à matéria morta presente nos ecossistemas ou agroecossistemas. Situada acima do solo, pode estar sob o solo ou não, e incluir a serrapilheira. É subdividida em necromassa grossa (acima de 2,5 cm de diâmetro), fina (igual ou menor a 2,5 cm de diâmetro) e serrapilheira (Harmon et al., 1986).

Desconsiderar a necromassa pode subestimar em até 45% o carbono presente em florestas tropicais, conforme observaram Palace et al. (2008). Já Brown (1997) considera que essa subestimação pode variar de 5% a 40%. Portanto, existe variação da estimativa da necromassa, embora a contribuição desse compartimento geralmente seja representativa e não deva ser desconsiderada no estudo de estoque de carbono nas florestas tropicais da Amazônia.

Soares e Froufe (2015) classificaram a necromassa entre as árvores mortas que se apresentam em pé e o material vegetal morto depositado sobre o solo. Esse material vegetal morto pode ser dividido em liteira grossa, que corresponde a galhos e troncos com diâmetro maior ou igual a 2 cm, e liteira fina, também denominada serrapilheira, que corresponde ao material que recobre o solo (folhas, frutos, sementes, gravetos e galhos finos) com diâmetro menor que 2 cm.

Há uma divergência na subdivisão entre necromassa grossa e fina na literatura. O trabalho de Palace et al. (2012) sugere uma padronização em três classes de necromassa, conforme o diâmetro: fino (2 a 5 cm), médio (5 a 10 cm) e grosso (acima de 10 cm); quando inferior a 2 cm, é classificada como serrapilheira.

Já Celentano et al. (2020) quantificaram a necromassa em três classes — serrapilheira (folhas, flores, frutos e ramos menores que 2 cm de diâmetro), necromassa fina (ramos entre 2 e 5 cm de

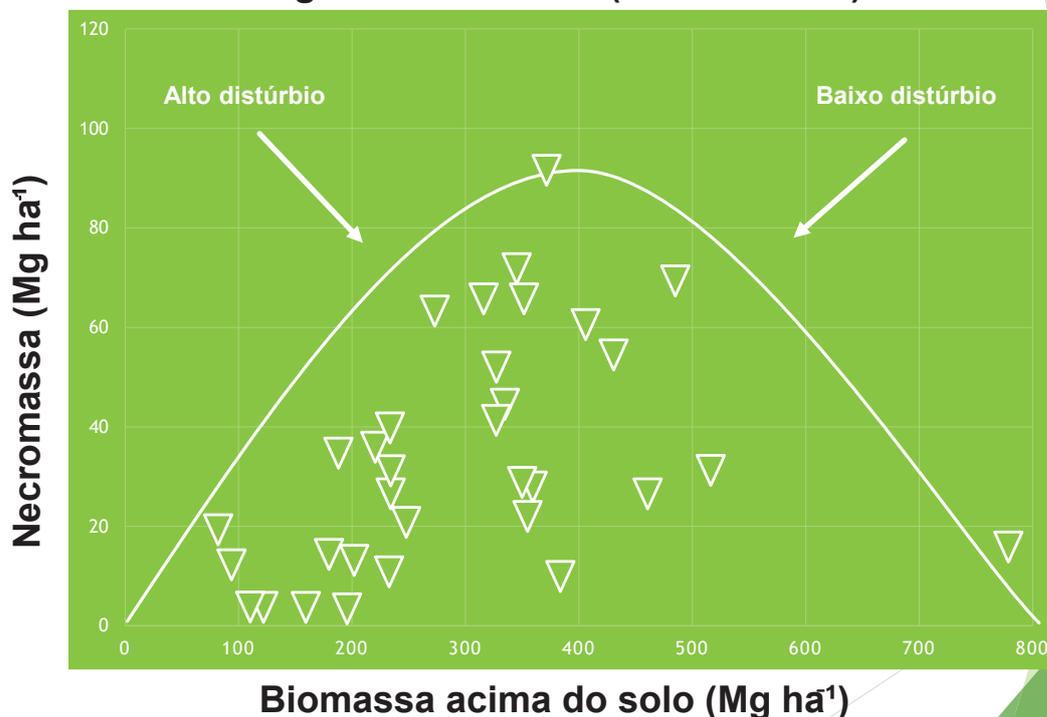
diâmetro) e necromassa grossa (acima de 5 cm) —, utilizando densidades da madeira de 0,23, 0,42 e 0,60 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente. Para cada classe da necromassa, Arevalo et al. (2002) subdividiram a necromassa grossa em árvores mortas em pé e árvores mortas caídas.

A necromassa pode adicionar uma quantidade substancial de carbono, variável conforme o tipo de floresta. Estudos indicaram que a necromassa presente sobre o solo de floresta apresentou quantia de carbono semelhante à encontrada em 30 cm da camada superior do solo (Trumbore; Camargo, 2009).

A magnitude da necromassa na Floresta Amazônica, conforme a revisão de Palace et al. (2012), foi de 43 Mg ha<sup>-1</sup>, em média, com variação de 9,5 a 99,6 Mg ha<sup>-1</sup>, considerando dados de 28 florestas não alteradas. A relação obtida por eles entre a necromassa e a biomassa acima do solo foi de 0,21, com amplitude de 0,02 a 3,04. Além disso, analisaram a necromassa das florestas alteradas com fogo, seca e com corte seletivo e a biomassa acima do solo, e concluíram que a relação permite medir o grau de impacto na floresta (Figura 8).

O compartimento da biomassa viva é definido por raízes acima de 2 mm de diâmetro (Silva et al., 2007). Pode representar, em média, 31% da biomassa acima do solo, ou seja, 108,1 Mg ha<sup>-1</sup> nas árvores de florestas tropicais, e tem menor expressão nas outras vegetações consideradas não árvores, com valor médio de apenas 32,0 Mg ha<sup>-1</sup> (Nogueira et al., 2008).

### Biomassa acima do solo e necromassa em Mg ha<sup>-1</sup>, identificando o grau de distúrbio (alto ou baixo).



**Figura 8.** Biomassa acima do solo e necromassa, em Mg ha<sup>-1</sup>, identificando o grau de distúrbio (alto ou baixo).

Fonte: Adaptado de Palace et al. (2012).

Fearnside (1994) obteve valor médio de 23,7%, com variação de 33,4% a 15,2% nas florestas localizadas em Paragominas, Jari e Manaus, enquanto Cairns et al. (1997) e Brasil (2010) registraram 19,4% e 27,1%, respectivamente, para a participação da biomassa abaixo do solo em relação à biomassa acima do solo.

## Serrapilheira

A terminologia da serrapilheira é comumente utilizada para identificar material morto, ou seja, representa parte fina e não lenhosa da necromassa (folhas, cascas, frutos, flores, entre outros), conforme esclarecem Maas et al. (2020). Alguns autores como Almeida et al. (2015), Brasil et al. (2017), Silva et al. (2007) e Sanches et al. (2009) entre outros, denominam serrapilheira como o material presente na parte superficial do piso da floresta, constituído por folhas, flores e outras plantas, bem como restos de animais e material fecal.

A serrapilheira é uma fonte de nutrientes e sua formação é influenciada pelo solo, clima, características genéticas da planta, idade, densidade e a diversidade de plantas. É também a principal via de transferência de carbono orgânico para o solo, principalmente através da queda de componentes senescentes da parte aérea das copas, e por isso é muito importante a sua quantificação (Correia; Andrade, 1999; Caldeira et al., 2008).

A metodologia utilizada para determinar a serrapilheira pode ser classificado em duas que são o uso de coletores instalados no campo (podendo ter formato quadrado ou de cone), e gabarito (que determina o acúmulo da serrapilheira) (Scoriza et al., 2012). Em geral, as folhas predominam em torno de 70% da serrapilheira nas florestas tropicais conforme registro de Silva et al. (2007), já Zelarayán et al. (2015) detectaram que nas florestas ripárias (mata ciliar) da Amazônia Oriental, esse predomínio foi de 66,4% em média.

A contribuição da serrapilheira no estoque de carbono, no bioma Amazônia, foi em torno de 8% do estoque de carbono total (biomassa, necromassa e solo) (Quijas et al., 2018). Sanches et al. (2009) e Almeida et al. (2015) estimaram que o estoque de carbono da serrapilheira foi na faixa de 6,5 a 11,23 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no estado de Mato Grosso.

## Carbono no ambiente agrícola

Em escala global, os solos estocam pelo menos duas vezes mais carbono do que a atmosfera. Apesar dos Argissolos (40,99%), Latossolos (31,32%), Gleissolos (7,11%) e Neossolos (6,89%) representarem cerca de 86,31% dos solos na Amazônia brasileira, existe uma grande diversidade geológica nessa vasta região (IBGE, 2012), a qual aliada ao relevo e clima podem resultar em diferentes potenciais de armazenamento de carbono.

Além do tipo de solo, a variação do estoque de carbono no solo ocorre conforme o uso e manejo do solo, pois, dependendo do tipo de manejo em que é submetido pode ser considerado como um emissor ou mesmo como um “sequestrador” de carbono (Laurance et al., 1999; Trumbore; Camargo, 2009; Embrapa, 2018).

As Figuras 9, 10 e 11 ilustram áreas com diferentes usos do solo na Amazônia.

Em virtude dos dados rotineiramente apresentados pela Convenção do Clima (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2018), que alerta o mundo para as consequências da mudança climática e orienta os tomadores de decisão, muitos países vem reportando emissões atuais e assumindo compromissos futuros para a redução das emissões de GEE. A partir disso, tem sido criadas ferramentas para alcançar as metas compromissadas, por meio de investimentos em estratégias de transição para um futuro baseado em uma economia de baixo carbono (Neves; Bizawu, 2019).

Foto: Sérgio Gomes Tôsto



**Figura 9.** Área de floresta convertida para pastagem, município de Acrelândia, AC.

Foto: Sérgio Gomes Tôsto



**Figura 10.** Plantio direto na palha na região de Sinop, MT.



**Figura 11.** Programa instituído pelo Governo Federal de Agricultura de baixo carbono - Integração Lavoura x Pecuária x Floresta - município de Sinop, MT.

No Brasil, em 2010 foi elaborado o 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). As ações deste Plano incluem a adoção de sistemas integrados (ILP e ILPF) e sistemas agroflorestais (SAFs); adoção do SPD; recuperação de pastagens degradadas; difusão da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN); expansão da área de florestas plantadas; e tratamento de dejetos animais (Brasil, 2012). Essas práticas agropecuárias tendem a criar condições adequadas para um maior sequestro de carbono pelo solo.

As práticas agropecuárias que contribuem no acréscimo de matéria orgânica no solo são importantes, pois, no solo, a matéria orgânica corresponde a um compartimento terrestre de carbono e uma fonte constante de emissão de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e vários outros gases para a atmosfera. A perda de matéria orgânica nas regiões tropicais e a perda de carbono do solo para a atmosfera em áreas desmatadas são mais aceleradas, onde a redução pode ser mais de 50% em seus estoques em 10 anos de cultivo tradicional (Silva; Machado, 2000).

## **Carbono e suas relações com os serviços ambientais e serviços ecossistêmicos**

O conceito de serviços ecossistêmicos e serviços ambientais têm sido amplamente utilizados, para designar os bens e serviços oferecidos pelos ecossistemas ao homem, podendo ser serviços de suporte, provisão, regulação e os serviços culturais (Parron; Garcia, 2015).

A Floresta Amazônica fornece, no mínimo, três classes de serviços ambientais: a manutenção da biodiversidade, o estoque de carbono e a ciclagem da água. A implementação de um esquema de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) contribui para diminuir o desmatamento, além de auxiliar na redução da pobreza rural, aumentando o bem-estar dos povos que vivem na floresta (Fearnside, 2005).

As empresas que emitem gases de efeito estufa (GEE) acima dos limites estabelecidos pelo Protocolo de Kyoto têm a opção de comprar créditos de carbonização ou créditos de descarbonização (títulos virtuais de Redução Certificada de Emissão – RCE), dentro de um sistema de comércio de emissões, em que, com base nos limites estabelecidos para emissão, pode-se pagar pela permissão adicional através da compra de créditos de carbono (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007).

A precificação do carbono já é uma realidade em seus processos de tomada de decisão sobre investimentos para muitas empresas brasileiras, no entanto, muito ainda precisa ser feito pela política do País.

O crédito de carbono ou créditos de descarbonização representa um certificado eletrônico que corresponde a uma tonelada de dióxido de carbono, ou de outros gases do efeito estufa convertidos em Carbono Equivalente. Tornou-se uma mercadoria negociada com preços estabelecidos pelo mercado internacional e pode ser comprado através das principais bolsas de valores. Basicamente, isso pode ocorrer dentro de um “mercado regulado” pelos países que possuem metas estabelecidas pelo Protocolo de Kyoto, ou ainda, pelo “mercado voluntário”, através de empresas, instituições ou até mesmo cidadãos que apresentem iniciativas de redução de GEE. A diferença é de que, nesse caso, os créditos não valem como redução das metas dos países signatários do Protocolo de Kyoto (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007).

Para redução da emissão de carbono, além dos Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), existem os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) em áreas com florestas e sem florestas e os Programas para Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD) (Pagiola et al., 2013).

Alguns exemplos de PSA voltados ao carbono, na Amazônia são: Programa de Desenvolvimento Socioambiental da Produção Familiar Rural (Proambiente) e Bolsa Floresta que foram os programas pioneiros de PSA no estado do Amazonas, implantados a partir de 2006 e considerados de maior relevância em termos de utilização na Amazônia; Sistema Estadual de Incentivo a Serviços Ambientais (SISA), do qual faz parte o Programa ISA Carbono (Incentivos por Serviços Ambientais associados com Carbono) que integra a Política de valorização do ativo ambiental florestal no estado do Acre (Moraes, 2012; Santos et al., 2012; WWF, 2013).

Há no Mato Grosso, uma iniciativa de PSA relacionada à água. Criado pelo município de Alta Floresta, o Programa “Guardião de Águas” que integra o projeto Olhos D’água da Amazônia que remunera as famílias que regeneraram e isolaram as áreas de preservação permanente (APP’s) dentro de suas propriedades com objetivo de conservar as nascentes de duas microbacias que abastecem o município (aproximadamente 535 hectares), através de atividades de mobilização social, monitoramento ambiental e remuneração de agricultores (72 famílias) pela proteção e recuperação das nascentes. A Figura 12 ilustra a placa de identificação de propriedade beneficiada pelo Programa “Guardião de Águas”.

Quanto ao REDD, na Amazônia existem cerca de 22 projetos privados de REDD em diferentes estágios de desenvolvimento, espalhados em unidades de conservação (reservas extrativistas, de desenvolvimento sustentável), terras indígenas entre outras categorias, sendo a maioria dos

projetos orientados de acordo com as metodologias aprovadas pelo Verified Carbon Standard (VCS),



Foto: Alan Rodrigues dos Santos

**Figura 12.** Placa de identificação de propriedade beneficiada pelo Programa “Guardião de Águas” no município de Alta Floresta, MT.

com foco na mensuração do desmatamento evitado, conciliando de alguma maneira benefícios sociais e ambientais no contexto em que estão inseridos (Verra, 2022).

Na Amazônia, a compensação do serviço ambiental focado no sequestro de carbono está relacionada à redução do desmatamento e conseqüente diminuição da emissão de gases de efeito estufa, além do aumento do bem-estar principalmente das pessoas que vivem na floresta.

Devido à escassez do capital natural que está ocorrendo, os serviços ambientais tem despertado o interesse de agricultores, políticos e sociedade em geral, em busca da necessidade de mudança no manejo dos recursos naturais e do bem-estar da sociedade. É necessária a comunicação entre quem produz o conhecimento científico e a sociedade que poderá se beneficiar dos serviços ambientais, para que alcance todos os tomadores de decisão públicos e privados, agricultores e sociedade brasileira em geral.

## Considerações finais

É possível a obtenção de benefícios para a valoração econômica do carbono se houver manejos adequados das terras, tornando-se a remoção de forma segura e prudente, ou seja, políticas de governança efetiva e de precauções com base na bioética podem retardar ou mesmo reverter a situação. Além de estudos sobre a dinâmica do uso e cobertura das terras, outros mecanismos

com abordagens tecnológicas também devem ser utilizados para reverter o quadro preocupante da remoção de carbono, muitos autores citam a captura direta pelo ar e o próprio armazenamento.

É importante levar em consideração a dimensão ecológica na tomada de decisão dos agentes econômicos, principalmente aqueles relacionados ao uso e ocupação das terras e que refletem nas perdas do carbono, principal serviço ambiental do contexto abordado neste capítulo de livro.

Devemos ter também uma visão mais ampla que valorize e amplie o escopo dos exercícios valorativos até então realizados. Além de considerar a dinâmica ecológica, uma verdadeira valoração dinâmico-integrada deveria incluir também as visões que diferentes grupos de indivíduos têm sobre as diversas categorias de serviços ecossistêmicos e suas dimensões culturais e éticas, não basta apenas ampliar o cenário de valoração, incorporando aspectos de dimensões sociais, ecológicas e biofísicas.

Salvaguardas e ações efetivas para salvar a terra são imprescindíveis, evitando-se assim, o seu desmatamento desnecessário e conseqüentemente a sua degradação, contribuindo para minimizar os efeitos climáticos adversos.

## Referências

- ALMEIDA, E. J.; LUIZÃO, F.; RODRIGUES, D. de J. Produção de serapilheira em florestas intactas e exploradas seletivamente no sul da Amazônia em função da área basal da vegetação e da densidade de plantas. **Acta Amazônica**, v. 45, n. 2, p. 157-166, 2015.
- AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. M. **Metodologia para estimar estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. (Embrapa Florestas. Documentos, 73).
- ARTAXO, P.; DIAS, M. A. F. da S.; NAGY, L.; LUIZÃO, F. J.; CUNHA, H. B. da; QUESADA, C. A. N.; MARENGO, J. A.; KRUSCHE, A. Perspectivas de pesquisas na relação entre clima e o funcionamento da floresta Amazônica. **Ciência e Cultura**, v. 66, n. 3, p. 41-46, 2014.
- BATJES, N. H. Effects of mapped variation in soil conditions on estimates of soil carbon and nitrogen stocks for South America. **Geoderma**, v. 97, p. 135-144, 2000.
- BATJES, N. H.; DIJKSHOORN, J. A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. **Geoderma**, v. 89, p. 273-286, 1999.
- BERNOUX, M.; CARVALHO, M. DA C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brazil's Soil Carbon Stocks. **Soil Science Society American Journal**, v. 66, p. 888-896, 2002.
- BRASIL, J. B.; ANDRADE, E. M. De; AQUINO, D. Do N.; RESENDE, L.; PEREIRA JÚNIOR, L. R. Sazonalidade na produção de serrapilheira em dois manejos no semiárido Tropical. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 3, p. 167-176, 2017.
- BRASIL. 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: Plano ABC (Agricultura de Baixa emissão de carbono)**. Brasília, DF, 2012. 172 p.
- BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. **Second national communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change**. Brasília, DF: MCT, 2010. 2 v. Disponível [http://euroclimaplus.org/intranet/\\_documentos/repositorio/Segunda%20Com%202010-ilovepdf-compressed%20\(1\).pdf](http://euroclimaplus.org/intranet/_documentos/repositorio/Segunda%20Com%202010-ilovepdf-compressed%20(1).pdf). Acesso em: 2 abr. 2021.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 4. ed. Brasília, DF: MCTI, 2017. 89 p. Disponível em: <http://sirene.mcti.gov.br/>. Acesso em: 28 ago. 2018.
- BRAZIL, B.; KARST, J.; PIATTO, M.; VOIVODIC, M. **REDD+ no Brasil: status das salvaguardas socioambientais em políticas públicas e projetos privados**. Piracicaba: Imaflora, 2015. 83 p.
- BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forest: a primer**. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1997. p. 1-55. (FAO. Forestry paper, 134).

- CAIRNS, M. A.; BROWN, S.; HELMER, E. H.; BAUMGARDNER, G. A. Root biomass allocation in the world's upland and forests. **Oecologia**, v. 111, p. 1-11, 1997.
- CALDEIRA, M. V. W.; VITORINO, M. D.; SCHAADT, S. S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 1, p. 53-68, 2008.
- CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS). **Precificação de carbono**: o que o setor empresarial precisa saber para se posicionar. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: [http://cebds.org/wp-content/uploads/2018/06/cebds.org-portguiaprecificacao\\_web.pdf](http://cebds.org/wp-content/uploads/2018/06/cebds.org-portguiaprecificacao_web.pdf). Acesso em: 4 out. 2020.
- CELENTANO, D.; ROUSSEAU, G. X.; PAIXÃO, L. S. Carbon sequestration and nutrient cycling in agroforestry systems on degraded soils of Eastern Amazon, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 94, p. 1781-1792, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00496-4>.
- CERRI, C. E. P.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; COLEMAN, K.; BERNOUX, M.; FALLON, P.; POWLSON, D. S.; BATJES, N. H.; MILNE, E.; CERRI, C. C. Predicted soil organic stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 122, p. 58-72, 2002.
- CHAO, K. J.; PHILLIPS, O. L.; BAKER, T. R.; PEACOCK, J.; LOPEZ-GONZALEZ, G. MARTÍNEZ, R. V.; MONTEAGUDO, A.; TORRES-LEZAMA, A. After trees die: quantities and determinants of necromass across Amazonia. **Biogeosciences**, v. 6, p. 1615-1626, 2009.
- CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação da serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 197-225.
- COVEY, K.; SOPER, F.; PANGALA, S.; BERNARDINO, A.; PAGLIARO, Z.; BASSO, L.; CASSOL, H.; FEARNESIDE, P.; NAVARRETE, D.; NOVOA, S.; SAWAKUCHI, H.; LOVEJOY, T.; MARENGO, J.; PERES, C. A.; BAILLIE, J.; BERNASCONI, P.; CAMARGO, J.; FREITAS, C.; HOFFMAN, B.; NARDOTO, G. B.; NOBRE, I.; MAYORGA, J.; MESQUITA, R.; PAVAN, S.; PINTO, F.; ROCHA, F.; MELLO, R. de A.; THUAULT, A.; BAHL, A. A.; ELMORE, A. Carbon and Beyond: The Biogeochemistry of Climate in a Rapidly Changing Amazon. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.618401>. Acesso em: 28 set. 2022.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018. 356 p.
- FEARNESIDE, P. M. Brazil's Amazonian forest carbon: the key to Southern Amazon's significance for global climate. **Regional Environmental Change**, v. 18 p. 47-61, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-016-1007-2>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- FEARNESIDE, P. M. Biomassa das florestas Amazônicas brasileiras. In: BANDEIRAS, R. L.; REIS, M.; BORGONOV, M. N.; CEDROLA, S. (ed.). **Emissão x Sequestro de CO<sub>2</sub>**: uma nova oportunidade de negócio para o Brasil. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), 1994. p. 95-124.
- FEARNESIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, v. 1, p. 113-123, 2005.
- GOMES, L. C.; FARIA, R. M.; SOUZA, E. de; VELOSO, G. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I. Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil. **Geoderma**, v. 240, p. 337-350, 2019.
- GONÇALVES, A. C. Effects of forest stand structure in biomass and carbon. In: SHUKLA, G.; CHAKRAVARTY, S. (ed.). **Forest Biomass and Carbon**. 2018. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/forest-biomass-and-carbon/effects-of-forest-stand-structure-in-biomass-and-carbon>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- HARMON, M. E.; FRANKLIN, J. F.; SWANSON, F. J.; SOLLINS, P.; GREGORY, S. V.; LATTIN, J. D.; ANDERSON, N. H.; CLINE, S. P.; AUMEN, N. G.; SEDELL, J. R.; LIENKAEMPER, G. W.; CROMACK JUNIOR, K.; CUMMINS, K. W. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. **Advange in Ecological Research**, v. 15, p. 133-302, 1986.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manuais técnicos em geociências número 1**. Manual técnico da vegetação brasileira. Sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnica e manejo de coleções botânicas e procedimentos para mapeamentos. Rio de Janeiro, 2012. 275 p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007**: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: PACHAURI, R. K; REISINGER, A. (ed.). The Core Writing Team. Geneva, Switzerland: IPCC, 2007. 104 p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for Policymakers. In: MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PÖRTNER, H.O.; ROBERTS, D.; SKEA, J.; SHUKLA, P. R.; PIRANI, A.; MOUFOUMA-OKIA, W.; PÉAN, C.; PIDCOCK, R.; CONNORS, S.; MATTHEWS, J. B. R.; CHEN, Y.; ZHOU, X.; GOMIS, M. I.; LONNOY, E.; MAYCOCK, T.; TIGNOR, M.; WATERFIELD, T. (ed.). **Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global**

warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. 2015.

JOLY, C. A.; SCARANO, F. R.; BUSTAMANTE, M.; GADDA, T. M. C.; METZGER, J. P. W.; SEIXAS, C. S.; OMETTO, J. P. H. B.; PIRES, A. P. F.; BOESING, A. L.; SOUSA, F. D. R.; QUINTÃO, J. M. B.; GONÇALVES, L. R.; PADGURSCHI, M. C. G.; AQUINO, M. F. S.; CASTRO, P. F. D.; SANTOS, I. L. Brazilian assessment on biodiversity and ecosystem services: summary for policy makers. **Biota Neotropica**, v. 19, n. 4, e20190865, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2019-0865>. Acesso em: 20 jan. 2021.

LAL, R. Soil carbono sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, n. 1-2, p.1-22, 2004.

LAURANCE, W. F.; FEARNside, P. M.; LAURANCE, S. G.; DELAMONICA, P.; LOVEJOY, T. E.; MERONA, J. M. R.-de.; CHAMBERS, J. Q.; GASCON, C. Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscapescale study. **Forest Ecology and Management**, v. 118, n. 1-3, p. 127-138, 1999.

MAAS, G. S.; SANGUETTA, C. R.; MARQUES, R.; MACHADO, S. do A.; SANQUETTA, M. I. Quantification of carbon in forest necromass: state of the art. **Cerne**, v. 26, n. 1, p. 98-108, 2020.

MARCOVITCH, J. **Para mudar o futuro: mudanças climáticas, políticas públicas e estratégias empresariais**. São Paulo: Edusp: Saraiva, 2006.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 3, p. 1033-1050, 2015.

MARQUES, J. D. de O.; LUISÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; NOGUEIRA, E. M.; FEARNside, P. M.; SARRAZIN, M. Soil carbon stocks under amazonian forest: distribution in the soil fractions and vulnerability to emission. **Open Journal of Forestry**, v. 7, p. 121-142, 2017.

MORAES, J. L.; CERRI, C. C.; MELILLO, J. M.; KICKLIGHTER, D.; NEIL, C.; SKOLE, D. L.; STEUDLER, P. A. Soil carbon stocks of the Brazilian Amazon Basin. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, p. 244-247, 1995.

MORAES, J. L. A. de. Pagamento por serviços ambientais (PSA) como instrumento de política de desenvolvimento sustentável dos territórios rurais: o projeto Protetor das águas de Vera Cruz, RS. **Sustentabilidade em debate**, v. 3, p. 43-56, 2012.

NASCIMENTO, M. T.; SILVA, L. C. da; BARBOSA, R. I.; VILELA, D. M. Variation in floristic composition, demography and above-ground biomass over a 20-year period in na Amazonian monodominant forest. **Plant Ecology and Diversity**, v. 7, n. 1-2, p. 293-303, 2013. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1080/17550874.2013.772673>. Acesso em: 30 mar. 2021.

NEVES, J. T.; BIZAWU, K. O extrativismo da madeira na Amazônia e seus impactos ambientais: a contribuição do Protocolo de Kyoto para o desenvolvimento sustentável. **Revista Argumentum**, v. 20, n. 2, p. 465-483, 2019.

NOBRE, A. Amazônia: fonte ou sumidouro de carbono? In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente do Brasil. **Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2001. 436 p.

NOGUEIRA, E. M.; FEARNside, P. M.; NELSON, B. W.; BARBOSA, R. I.; KEIZER, E. W. H. Estimates of biomass in the Brazilian Amazon: new allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, v. 256, p. 1853-1867, 2008.

PAGIOLA, S.; GLEHN, H. C. V.; TAFFARELLO, D. **Experiências de pagamentos por serviços ambientais no Brasil**. São Paulo: SMA/CBRN, 2013. 336 p.

PALACE, M.; KELLER, M.; HURTT, G.; FROLKING, S. A review of above ground necromass in tropical forests. In: SUDARSHA, P.; NAGESWARA-RAO, M.; SONEJI, J. R. (ed.). **Tropical Forests**. Intech (online Publisher). p. 215- 252, 2012. Disponível: <http://www.interchopen.com/books/tropical-forests>. Acesso em: 10 mar. 2021.

PALACE, M. W.; KELLER, M. M.; SILVA, H. Necromass production: studies in undisturbed and logged Amazonforest. **Ecological Applications**, v. 18, p. 873-884, 2008.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R. **Serviços ambientais: conceitos, classificação, indicadores e aspectos correlatos**. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 15, p. 202-218.

PETTER, F. A.; LIMA, L. B.; MORAIS, L. A.; TAVANTI, R. F. R.; NUNES, M. E.; FREDDI, O. S.; MARIMON JUNIOR, B. H. Carbon stocks in oxisols under agriculture and forest in the Southern Amazon of Brazil. **Geoderma Regional**, v. 11, p. 53-61, 2017.

QUIJAS, S.; BOIT, A. THONICKE, K.; MURRAY-TORTAROLO, G.; MWAMPAMBA, T.; SKUTSCH, M.; SIMOES, M.; ASCARRUNZ, N.; PEÑA-CLAROS, M.; JONES, L.; JARAMILLO, V. J.; LAZOS, E.; TOLEDO, M.; MARTORANO, G.;

- FERRAZ, R.; BALVANERA, P. Modelling carbon stock and carbon sequestration ecosystem services for policy design: a comprehensive approach using a dynamics vegetation model. **Ecosystems and People**, v. 15, n. 1, p. 42-60, 2018.
- RAVINDRANATH, N. H.; OSTWALD, M. Carbon inventory methods: handbook for greenhouse gas inventory, carbon mitigation and round wood production projects. **Advances in Global Change Research**. 2008. v. 29, 306 p.
- SAATCHI, S. S.; HOUGHTON, R. A.; dos SANTOS ALVALA, R. C.; SOARES, J. V.; YU, Y. Distribution of above ground live biomass in the Amazon Basin. **Global Change Biology**, v. 13, p. 816-837, 2007.
- SANCHES, L.; VALENTINI, C. M. A.; BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. S. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, 183-189, 2009.
- SANQUETTA, C. R. Métodos de Determinação de Biomassa Florestal. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S. (ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: UFPR, 2002. 253 p.
- SANTOS, C. C. dos; FERRAZ JUNIOR, A. S. de L.; SÁ, S. O.; GUTIÉRREZ, J. A. M.; BRAUN, H.; SARRAZIN, B. M.; DESJARDINS, T. Soil carbon stock and plinthosol fertility in smallholder land-use systems in the Eastern Amazon, Brazil. **Carbon Management**, v. 9, n. 6, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17583004.2018.1530026>. Acesso em: 2 de abril de 2021.
- SANTOS, P.; BRITO, B.; MASCHIETTO, F.; OSÓRIO, G.; MONZONI, M. **Marco regulatório sobre pagamento por serviços ambientais no Brasil**. Belém: Imazon: FGV.CVces, 2012. 76 p.
- SCORIZA, R. N.; PEREIRA, M. G.; PEREIRA, G. H. A.; MACHADO, D. L.; SILVA, E. M. R. da. Métodos para coleta e análise de serrapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes. **Floresta & Ambiente (Série Técnica)**, v. 2, n. 2, p. 01-18, 2012.
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Sistema Nacional de Informações Florestais – SNIF**. Brasília, DF: 2019. Disponível em: <http://snif.florestal.gov.br/pt-br/>. Acesso em: 26 set. 2021.
- SCHARLEMANN, J. P.; TANNER, E. V.; HIEDERER, R.; KAPOV, V. Global soil carbon: understanding and managing the large terrestrial carbon pool. **Carbon Management**, v. 5, n. 1, p. 81-91, 2014.
- SILVA, C. A.; MACHADO, P. L. O. A. **Sequestro e emissão de carbono em ecossistemas agrícolas: estratégias para o aumento dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 23 p. (Embrapa Solos. Documentos, 19).
- SILVA, C. J.; SANCHES, L.; BLEICH, M. E.; LOBO, F. A.; NOGUEIRA, J. S. Produção de serrapilheira no cerrado e floresta de transição Amazônica-cerrado do centro-oeste brasileiro. **Acta Amazonica**, v. 37, p. 543-548, 2007.
- SOARES, M. T. S.; FROUFE, L. C. M. Estimativa de ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais por meio da produção e decomposição de serrapilheira. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 155 – 170.
- TER STEEGE, H.; VAESSEN, R. W.; CÁRDENAS-LÓPEZ, D.; SABATIER, D.; ANTONELLI, A.; OLIVEIRA, S. M.; PITMAN, N.; JORGENSEN, P. M.; GOMES, V. H. F.; SALOMÃO, R. P. A descoberta da flora arbórea da Amazônia com uma lista atualizada de todos os taxa arbóreos conhecidos. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**, v. 11, n. 2, p. 231-261, 2017.
- TRUMBORE, S.; CAMARGO, P. B. de. Dinâmica do carbono do solo. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; DIAS, P. S. (ed.). **Amazonia and Global Change**. American Geophysical Union, 2009. p. 451-462.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Un Climate Change Annual Report**. 2018. Disponível em <https://unfccc.int/annualreport>. Acesso em: 1 ago. 2019.
- VERRA. **Verified Carbon Standard**. Disponível em: <https://registry.verra.org/app/search/VCS/Registered>. Acesso em: 28 set. 2022.
- WWF. **O sistema de incentivos por serviços ambientais do estado do Acre, Brasil: lições para políticas, programas e estratégias de REDD jurisdicional**. 2013. Disponível em: <http://imc.ac.gov.br/wp-content/uploads/2016/09/O-SISA-Acre.pdf>. Acesso em: 28 set. 2022.
- YANG, H.; CIAIS, P.; HUANG, Y.; WIGNERON, J.-P.; BASTOS, A.; CHAVE, J.; CHANG, J.; DOUGHTY, C.; FAN, L.; GOLL, D.; JOETZJER, E.; LI, W.; LUCAS, R.; QUEGAN, S.; TOAN, T. L.; YU, K. Variations of carbon allocation and turnover time across tropical forests. **Global Ecology Biogeography**, v. 30, p. 1271-1285, 2021.
- ZELARAYÁN, M. L. C.; CELENTANO, D.; OLIVEIRA, E. C.; TRIANA, S. P.; SODRÉ, D. N.; MUCHAVISOY, K. H. M.; ROUSSEAU, G. X. Impacto da degradação sobre o estoque total de carbono de florestas ripárias na Amazônia Oriental, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 45, n. 3, p. 271-282, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201500432>. Acesso em: 28 set. 2022.