



Gestão Florestal para Produção Sustentável

PROJETO GESTÃO FLORESTAL PARA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA

APOIO NA ESTRUTURAÇÃO DE PROCESSO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA E PRODUTIVA COM ESTIMATIVAS DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO, NO ÂMBITO DO SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO

Contrato CNDP Nº 01/2024/SFB

PRODUTO Nº 1

Relatório de Estimativa do Estoque de Carbono

CONSULTOR: Dr. Danilo Roberti Alves de Almeida

Maio / 2024

**APOIO NA ESTRUTURAÇÃO DE PROCESSO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA E PRODUTIVA COM
ESTIMATIVAS DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO, NO ÂMBITO DO SERVIÇO
FLORESTAL BRASILEIRO**

Contrato Número	Contrato CNDP Nº 01/2024/SFB
Produto Número	1
Título do Produto	Relatório de Estimativa do Estoque de Carbono
Contratante	NIRAS - IP Consult/ DETZEL
Elaborado por	BIOFLORE TECNOLOGIA E CONSULTORIA FLORESTAL LTDA
Consultores de Curto Prazo	Consultor: Dr. Danilo Roberti Alves de Almeida Equipe Técnica: Dra. Laura Barbosa Vedovato, Ecóloga, Mestrado em Sensoriamento Remoto e PhD em Geografia.

Sumário

Sumário

1.	Introdução.....	5
2.	Metodologia	5
2.1.	Tipos de vegetação, documentos consultados e reservatórios.....	5
2.2.	Cálculo do IMA em CO ₂ e.....	6
2.3.	Cálculo do IMA e VCUs	6
3.	Resultados	7
3.1.	IMA “Madeira Acima do Solo”	7
3.2.	IMA “Madeira/Raiz Abaixo do Solo”	7
3.3.	IMA “Liteira e Madeira Morta” e “Carbono Orgânico no Solo”.....	8
3.4.	Curvas de acumulo de CO ₂ e e VCUs	10
4.	Conclusão.....	13
5.	Referências	13
1.	Restauração ativa e passiva - Brazil’s forest restoration, biomass and carbon stocks: A critical review of the knowledge gaps. Fernando Gardon, Rozely dos Santos, Ricardo Rodrigues (2020).	15
2.	Análise comparativa de estoques de carbono	17
3.	Restauração passiva - Biomass resilience of Neotropical secondary forests. Lourens Poorter, et al. (2016)	18
4.	Restauração ativa com plantio de mudas nativas - Intensive silviculture enhances biomass accumulation and tree diversity recovery in tropical forest restoration. Pedro Brancalion, et al. (2018).	20
5.	MR 1 do projeto da ONF “Multi-Species Reforestation in Mato Grosso, Brazil”, ID VERRA: 665. Monitoramento feito em 2009, após 10 anos da data de início projeto.	21
6.	Paricá - “Condições topoclimáticas preferenciais para plantios de paricá (<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex. Ducke) Barneby) e evidências de desempenho para otimizar a silvicultura em áreas desflorestadas na Amazônia”. 22	22
7.	Outras espécies de interesse comercial. Silvicultura e Tecnologia de Espécies da Mata Atlântica. Rolim e Piotto (2018).....	23

1. Introdução

Este relatório aborda as estimativas de sequestro de carbono na FLONA Bom Futuro, Rondônia, focando em avaliar o potencial de geração de créditos de carbono através de abordagens multifuncionais que incluem restauração florestal e produção. O objetivo central para este estudo é a análise do incremento médio anual de carbono acima e abaixo do solo, utilizando metodologias alinhadas com padrões internacionais de quantificação de estoques de carbono. Este trabalho se insere no contexto de concessões florestais para projetos de restauração e valorização de ativos ambientais, destacando a importância da integração entre conservação e viabilidade econômica na gestão de florestas.

2. Metodologia

2.1. Tipos de vegetação, documentos consultados e reservatórios

Para as estimativas dos estoques de Carbono (C) e Incremento Médio Anual (IMA), acima e abaixo do solo, buscamos informações na literatura, incluindo artigos científicos, documentos técnicos do IPCC, padrões da Verra e em outros projetos de carbono com a fitofisionomia e tipos florestais semelhantes às que serão utilizadas no projeto de concessão florestal para restauração na FLONA Bom Futuro.

Os principais documentos consultados na nossa pesquisa foram:

- “Brazil’s forest restoration, biomass and carbon stocks: A critical review of the knowledge gaps”, Gardon et al. (2020).
- “Estimativas de carbono em florestas regeneradas na Mata Atlântica e Amazônia brasileira”, Gardon et al. (2023).
- “Biomass resilience of Neotropical secondary forests”, Poorter, et al. (2016).
- “Intensive silviculture enhances biomass accumulation and tree diversity recovery in tropical forest restoration”, Brancalion et al. (2018).
- “Multi-Species Reforestation in Mato Grosso, Brazil”, ID VERRA 665.
- “Condições topoclimáticas preferenciais para plantios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby) e evidências de desempenho para otimizar a silvicultura em áreas desflorestadas na Amazônia”, Monteiro (2013).
- “Silvicultura e Tecnologia de Espécies da Mata Atlântica”, Rolim e Piotto (2018).

No apêndice “Revisão da literatura e aspectos metodológicos”, ao final do presente relatório, são apresentados mais detalhes dos documentos mencionados acima.

A vegetação predominante na Flona é do tipo Ombrófila Densa. Dentre os cenários (tipos florestais) avaliados consideramos “regeneração natural”, “plantios de restauração de alta diversidade” e “plantios comerciais”. Os estoques de C foram avaliados nos seguintes reservatórios: “madeira viva acima do solo”, “Madeira/raiz abaixo do solo”, “liteira e madeira morta” e “carbono orgânico do solo”.

2.2. Cálculo do IMA em CO₂e

Os valores de IMA foram calculados em unidade de tonelada (t ou Mg) de Gás Carbônico equivalente (tCO₂e) por hectare. O CO₂e foi escolhido devido ao seu papel importante dentro do contexto de mudanças climáticas, sendo um dos principais gases de efeito estufa (GEE), e utilizado como parâmetro padrão no cálculo de Créditos de Carbono. Uma tonelada de CO₂e equivale a um Crédito de Carbono. Para converter Biomassa Seca para CO₂e, primeiro convertemos a Biomassa para Carbono (multiplicando por 0,47, IPCC 2006), e depois multiplicamos por 44/12 (peso molecular do CO₂ dividido pelo peso molecular do C).

2.3. Cálculo do IMA e VCUs

Além das estimativas de IMA em tCO₂e por hectare também estimamos em “Unidades de Carbono Verificadas” (VCUs - *Verified Carbon Units*). Os VCUs são os Créditos de Carbono verificados por terceiros independentes, seguindo padrões reconhecidos internacionalmente, como o VCS (*Verified Carbon Unit*) da Verra. Para cálculos dos VCUs descontamos dos valores em tCO₂e as “emissões do projeto”, “vazamento” (*leakage*, em inglês) e “buffer”.

As “emissões do projeto” referem-se às emissões diretas que o correm dentro da área do projeto, por exemplo, uso de fertilizantes e uso de combustíveis fósseis durante as atividades de manejo, colheita de madeira ou incêndios florestais. Essas emissões são geralmente baixas para projetos de reflorestamento (ARR - *Afforestation, Reforestation, and Revegetation*), mas devem ser calculadas com precisão para cada projeto. Aqui vamos adotar um valor conservador (relativamente alto) de 5% dos estoques.

O “vazamento” é o aumento indireto das emissões de GEE fora da área do projeto devido às atividades deslocadas. Para projetos de reflorestamento a Verra sugere que o vazamento pode variar significativamente dependendo do contexto local e do tipo de projeto. Em alguns casos, a Verra permite a aplicação de fatores de vazamento padrão que podem variar de 10% a 20%, aqui iremos adotar o valor intermediário de 15%.

O “buffer” para riscos de reversão é uma reserva de créditos de carbono estabelecida para mitigar o risco de perda futura de estoques de carbono devido a incêndios, pragas, mudanças legais, ou outros riscos não antecipados. A Verra utiliza o “Risk Tool” (Ferramenta de Risco) para calcular a porcentagem de créditos de carbono que devem ser colocados no buffer de risco. Essa porcentagem pode variar amplamente, geralmente entre 12% e 25%, dependendo do nível de risco avaliado para o projeto.

específico. Aqui iremos adotar um valor de 15%. Contudo, a porcentagem de buffer é descontada após os descontos de emissões.

Portanto, na conversão de tCO₂e para VCUs, primeiro iremos descontar do total de CO₂e 20% (emissões mais vazamento) do valor total de CO₂e, e posteriormente descontamos mais 15% aplicados ao valor total de CO₂e menos as emissões. Por exemplo, vamos supor que o valor total de CO₂e em toneladas é de 100. Teremos um desconto de 5 devido às emissões, 15 devido ao vazamento, e de 14,25 devido ao buffer ((100-5)*15%, isto é, (Total-Emissões)*Buffer%). Portanto, 100 tCO₂e é o equivalente a 65,67 VCUs).

3. Resultados

3.1. IMA “Madeira Acima do Solo”

Principais resultados:

- Floresta em regeneração: **12.7** até os 20 anos e **8.05** após os 20 anos até atingir o máximo local perto dos 50 anos.
- Floresta a partir de plantio de mudas da restauração ecológica: **17** até os 20 anos e **10.8** após os 20 anos até atingir o máximo local com cerca de 36 anos.
- Plantios comerciais: para as espécies comerciais em geral recomenda-se um IMA de **11.5**. No caso do Paricá, que possui crescimento alto e ciclos curtos, pode ser considerado IMA de **25**.

Para essas conclusões, foram consultados vários artigos e documentos científicos. Na seção de Referências detalhamos os principais trabalhos utilizados e como chegamos nos valores de IMA acima do solo. Mais detalhes também podem ser encontrados no Anexo I (“AnexoI_Estoques.xlsx”).

3.2. IMA “Madeira/Raiz Abaixo do Solo”

A metodologia VCS da Verra tem aceitado os padrões do IPCC (2006; 2019) para o estoque “abaixo do solo”, que recomenda, para América do Sul, o uso do fator de **0.221** em florestas “naturais” (maduras e secundárias), e **0,170** para florestas plantadas (Tabela 1).

Tabela 1 - Proporção entre biomassa subterrânea e biomassa acima do solo (IPCC, 2019).

TABLE 4.4 (UPDATED) RATIO OF BELOW-GROUND BIOMASS TO ABOVE-GROUND BIOMASS (R) [TONNE ROOT D.M. (TONNE SHOOT D.M.) ^{-1]}								
Domain	Ecological zone ¹	Continent	Origin (Natural/Plantation)	Above-ground biomass (tonnes ha ⁻¹)	R [tonne root d.m. (tonne shoot d.m.) ⁻¹]	Uncertainty	Uncertainty type	References
Tropical Rainforest	Africa	Natural	≤ 125	0.825	±90%	default	1, 2	
		Natural	> 125	0.532	±90%	default	2, 3	
	North and South America	Natural	≤ 125	0.221	0.036	SD	4	
		Planted	≤ 125	0.170	0.11	SD	5	
		Natural	> 125	0.221	0.036	SD	4	
		Planted	> 125	0.170	0.11	SD	5	
	Asia	Natural	≤ 125	0.207	0.072	SD	6, 7, 8	
		Planted	≤ 125	0.325	0.025	SD	8	
		Natural	> 125	0.212	0.077	SD	7, 8, 9, 10, 11	

3.3. IMA “Liteira e Madeira Morta” e “Carbono Orgânico no Solo”.

Segundo o padrão VCS da Verra (Verra, 2023), os reservatórios liteira (serapilheira), madeira morta e carbono orgânico do solo (SOC), não são obrigatórios dentro dos projetos ARR, contudo, uma vez incluídos a sua mensuração é obrigatória a partir de coletas em campo de parcelas amostrais (Tabela 2).

Tabela 2 - Reservatórios de carbono selecionados no limite da área do projeto (Verra, 2023).

Carbon Pool	Included?	Justification/Explanation
Aboveground woody biomass	Yes	Major carbon pool
Aboveground non-woody biomass	Yes/Optional	Must be included if the project activity significantly reduces the carbon pool as per Appendix B. For other cases this carbon pool is optional.
Belowground woody biomass	Yes	Major carbon pool
Belowground non-woody biomass	Yes/Optional	Must be included if the project activity significantly reduces the carbon pool as per Appendix B. For other cases this carbon pool is optional.
Dead wood	Optional	Carbon stock in this pool may increase due to implementation of the project activity
Litter	Yes/Optional	Must be included if the project activity significantly reduces the carbon pool (i.e., is not determined to be de minimis). For other cases this carbon pool is optional.
Soil organic carbon (SOC)	Yes/Optional	Must be included where soil disturbance from the project activity (i.e., from site preparation): 1) Occurs more than once during the project crediting period (i.e., at site preparation); or 2) Involves soil inversion to a depth exceeding 25 cm (e.g., that would result from a moldboard plow).

Segundo Nogueira *et al.* (2008), o reservatório de liteira em florestas localizadas no domínio fitogeográfico da Amazônia representa 4%, e o de madeira morta cerca de 9% da biomassa acima do solo (Tabela 3). Este estudo se trata de uma revisão de literatura trazendo uma síntese das estimativas dos estoques de C em diferentes reservatórios em florestas “naturais” (maduras e secundárias). Para fins de modelagem econômico-financeira, e de maneira conservadora, sugerimos considerar os **reservatórios de liteira e madeira morta (juntos) como sendo cerca de 5% do total de biomassa acima do solo projetado**. Este fator de 5%, sugerimos utilizar apenas para as florestas em regeneração e plantio de restauração. No caso dos plantios comerciais, como esse fator irá variar muito dependendo da espécie, sugerimos de maneira conservadora não considerar esse reservatório dentro dos modelos financeiros.

Tabela 3 - Medidas de biomassa florestal e componentes não arbóreos de estudos conduzidos na Amazônia brasileira (peso seco em Mg/ha e % em relação a biomassa do povoamento de árvores com DAP > 10 cm).

Forest	State	Biomass all trees ≥10 cm	Palms %	Vines %	Under story; seedlings (wood + leaves) %	Dead wood (fallen + standing) %	Litter/root mat ^a %	Below-ground %	Source %	Notes
Dense		299.0	6.5	1.9	11.8	3.4	13.1	4.3	33.4	9.4
Non-dense		266.6	22.5	8.6	5.3	2.1	7.4	3.9	24.3	8.1

Para o Carbono Orgânico do Solo (SOC), de acordo com o documento da UNFCCC (2011), o incremento é em torno de **0,3 tC (que representam 1 tCO2e) por hectare ano (quando a floresta teve origem em pastos variando de não degradados a severamente degradados)**. Vale o destaque que nas metodologias atuais da Verra o SOC é contabilizado apenas nos primeiros 20 anos de projeto.

3.4. Curvas de acumulo de CO₂e e VCUs

A partir dos IMAs descritos nas sessões anteriores produzimos curvas de crescimento em unidades de CO₂e (t/ha) e VCUs para os diferentes tipos de vegetação (Figuras 1-3 e Tabelas 4-6). Os detalhes dessas curvas se encontram na planilha Excel “AnexoII_Curvas”, onde cada aba do arquivo é um tipo de vegetação. Abaixo trazemos as Tabelas detalhadas e os Gráficos com as curvas de acúmulo ao longo do tempo dos diferentes reservatórios em valores de CO₂e e VCUs. Como detalhado na Metodologia, os VCUs são calculado a partir dos descontos de Emissões do Projeto, Vazamento e Buffer sobre os valores totais de CO₂e (t/ha).

Floresta em regeneração

Tabela 4 – Valores de CO₂e (t/ha) e VCUs acumulados em função do tempo para floresta em regeneração.

Ano	CO ₂ e					Descontos sobre o TOTAL de CO ₂ e			
	Acima do Solo	Abaixo do Solo	Litter e Madeira Morta	SOC	TOTAL	Emissões	Vazamento	Buffer	TOTAL VCUs
1	39,47	8,72	1,97	1	51,17	2,56	7,68	7,29	33,64
2	55,50	12,27	2,78	2	72,55	3,63	10,88	10,34	47,70
3	71,01	15,69	3,55	3	93,25	4,66	13,99	13,29	61,31
4	85,99	19,00	4,30	4	113,29	5,66	16,99	16,14	74,49
5	100,44	22,20	5,02	5	132,66	6,63	19,90	18,90	87,22
6	114,37	25,27	5,72	6	151,36	7,57	22,70	21,57	99,52
7	127,76	28,24	6,39	7	169,39	8,47	25,41	24,14	111,37
8	140,63	31,08	7,03	8	186,75	9,34	28,01	26,61	122,79
9	152,98	33,81	7,65	9	203,44	10,17	30,52	28,99	133,76
10	164,80	36,42	8,24	10	219,46	10,97	32,92	31,27	144,29
11	176,09	38,92	8,80	11	234,81	11,74	35,22	33,46	154,39
12	186,85	41,29	9,34	12	249,49	12,47	37,42	35,55	164,04
13	197,09	43,56	9,85	13	263,50	13,18	39,53	37,55	173,25
14	206,80	45,70	10,34	14	276,84	13,84	41,53	39,45	182,02
15	215,98	47,73	10,80	15	289,52	14,48	43,43	41,26	190,36
16	224,64	49,65	11,23	16	301,52	15,08	45,23	42,97	198,25
17	232,77	51,44	11,64	17	312,85	15,64	46,93	44,58	205,70
18	240,37	53,12	12,02	18	323,52	16,18	48,53	46,10	212,71
19	247,45	54,69	12,37	19	333,51	16,68	50,03	47,53	219,28
20	254,00	56,13	12,70	20	342,83	17,14	51,43	48,85	225,41
21	262,05	57,91	13,10	20	353,07	17,65	52,96	50,31	232,14
22	270,10	59,69	13,51	20	363,30	18,16	54,49	51,77	238,87
23	278,15	61,47	13,91	20	373,53	18,68	56,03	53,23	245,60
24	286,20	63,25	14,31	20	383,76	19,19	57,56	54,69	252,32
25	294,25	65,03	14,71	20	393,99	19,70	59,10	56,14	259,05
26	302,30	66,81	15,12	20	404,22	20,21	60,63	57,60	265,78
27	310,35	68,59	15,52	20	414,45	20,72	62,17	59,06	272,50
28	318,40	70,37	15,92	20	424,69	21,23	63,70	60,52	279,23
29	326,45	72,15	16,32	20	434,92	21,75	65,24	61,98	285,96
30	334,50	73,92	16,73	20	445,15	22,26	66,77	63,43	292,69
31	342,55	75,70	17,13	20	455,38	22,77	68,31	64,89	299,41
32	350,60	77,48	17,53	20	465,61	23,28	69,84	66,35	306,14
33	358,65	79,26	17,93	20	475,84	23,79	71,38	67,81	312,87
34	366,70	81,04	18,34	20	486,08	24,30	72,91	69,27	319,59
35	374,75	82,82	18,74	20	496,31	24,82	74,45	70,72	326,32
36	382,80	84,60	19,14	20	506,54	25,33	75,98	72,18	333,05
37	390,85	86,38	19,54	20	516,77	25,84	77,52	73,64	339,78
38	398,90	88,16	19,95	20	527,00	26,35	79,05	75,10	346,50
39	406,95	89,94	20,35	20	537,23	26,86	80,59	76,56	353,23
40	415,00	91,72	20,75	20	547,47	27,37	82,12	78,01	359,96

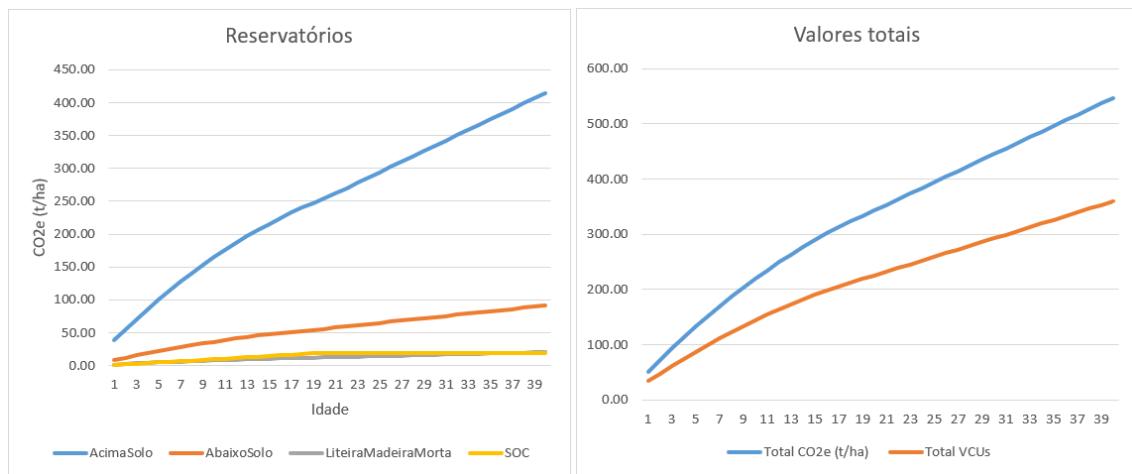


Figura 1 – Curva de acumulo de CO2e (t/ha) e VCUs em função do tempo para floresta em regeneração.

Plantio de restauração

Tabela 5 – Valores de CO2e (t/ha) e VCUs acumulados em função do tempo para floresta em regeneração.

Ano	CO2e					Descartos sobre o TOTAL de CO2e			
	Acima do Solo	Abaixo do Solo	Liteira e Madeira Morta	SOC	TOTAL	Emissões	Vazamento	Buffer	TOTAL VCUs
1	52.84	8.98	2.64	1	65.46	3.27	9.82	9.33	43.04
2	74.30	12.63	3.71	2	92.64	4.63	13.90	13.20	60.91
3	95.05	16.16	4.75	3	118.96	5.95	17.84	16.95	78.22
4	115.10	19.57	5.76	4	144.42	7.22	21.66	20.58	94.96
5	134.45	22.86	6.72	5	169.03	8.45	25.35	24.09	111.13
6	153.09	26.02	7.65	6	192.77	9.64	28.91	27.47	126.74
7	171.02	29.07	8.55	7	215.65	10.78	32.35	30.73	141.79
8	188.25	32.00	9.41	8	237.67	11.88	35.65	33.87	156.27
9	204.78	34.81	10.24	9	258.83	12.94	38.82	36.88	170.18
10	220.59	37.50	11.03	10	279.13	13.96	41.87	39.78	183.52
11	235.71	40.07	11.79	11	298.56	14.93	44.78	42.55	196.31
12	250.12	42.52	12.51	12	317.14	15.86	47.57	45.19	208.52
13	263.82	44.85	13.19	13	334.86	16.74	50.23	47.72	220.17
14	276.82	47.06	13.84	14	351.72	17.59	52.76	50.12	231.26
15	289.11	49.15	14.46	15	367.72	18.39	55.16	52.40	241.77
16	300.70	51.12	15.03	16	382.85	19.14	57.43	54.56	251.73
17	311.58	52.97	15.58	17	397.13	19.86	59.57	56.59	261.11
18	321.76	54.70	16.09	18	410.55	20.53	61.58	58.50	269.94
19	331.23	56.31	16.56	19	423.10	21.16	63.47	60.29	278.19
20	340.00	57.80	17.00	20	434.80	21.74	65.22	61.96	285.86
21	350.80	59.64	17.54	20	447.98	22.40	67.20	63.84	294.54
22	361.60	61.47	18.08	20	461.15	23.06	69.17	65.71	303.21
23	372.40	63.31	18.62	20	474.33	23.72	71.15	67.59	311.87
24	383.20	65.14	19.16	20	487.50	24.38	73.13	69.47	320.53
25	394.00	66.98	19.70	20	500.68	25.03	75.10	71.35	329.20
26	404.80	68.82	20.24	20	513.86	25.69	77.08	73.22	337.86
27	415.60	70.65	20.78	20	527.03	26.35	79.05	75.10	346.52
28	426.40	72.49	21.32	20	540.21	27.01	81.03	76.98	355.19
29	437.20	74.32	21.86	20	553.38	27.67	83.01	78.86	363.85
30	448.00	76.16	22.40	20	566.56	28.33	84.98	80.73	372.51
31	458.80	78.00	22.94	20	579.74	28.99	86.96	82.61	381.18
32	469.60	79.83	23.48	20	592.91	29.65	88.94	84.49	389.84
33	480.40	81.67	24.02	20	606.09	30.30	90.91	86.37	398.50
34	491.20	83.50	24.56	20	619.26	30.96	92.89	88.25	407.17
35	502.00	85.34	25.10	20	632.44	31.62	94.87	90.12	415.83
36	510.00	86.70	25.50	20	642.20	32.11	96.33	91.51	422.25
37	510.00	86.70	25.50	20	642.20	32.11	96.33	91.51	422.25
38	510.00	86.70	25.50	20	642.20	32.11	96.33	91.51	422.25
39	510.00	86.70	25.50	20	642.20	32.11	96.33	91.51	422.25
40	510.00	86.70	25.50	20	642.20	32.11	96.33	91.51	422.25

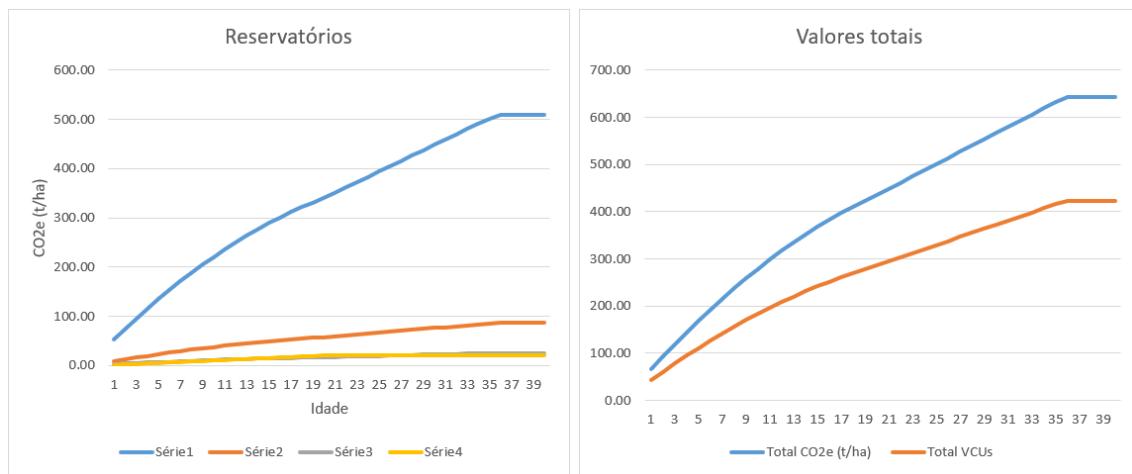


Figura 2 – Curva de acúmulo de CO₂e (t/ha) e VCUs em função do tempo para plantio de restauração.

Plantio comercial

Tabela 6 – Valores de CO₂e (t/ha) e VCUs acumulados em função do tempo para plantio comercial.

Ano	CO ₂ e					Descontos sobre o TOTAL de CO ₂ e			
	Acima do Solo	Abaixo do Solo	Liteira e Madeira Morta	SOC	TOTAL	Emissões	Vazamento	Buffer	TOTAL VCUs
1	35.74	6.08	0.00	1	42.82	2.14	6.42	6.10	28.15
2	50.26	8.54	0.00	2	60.80	3.04	9.12	8.66	39.96
3	64.30	10.93	0.00	3	78.23	3.91	11.73	11.15	51.44
4	77.86	13.24	0.00	4	95.10	4.76	14.27	13.55	62.53
5	90.95	15.46	0.00	5	111.41	5.57	16.71	15.88	73.25
6	103.56	17.61	0.00	6	127.16	6.36	19.07	18.12	83.61
7	115.69	19.67	0.00	7	142.36	7.12	21.35	20.29	93.60
8	127.35	21.65	0.00	8	157.00	7.85	23.55	22.37	103.22
9	138.52	23.55	0.00	9	171.07	8.55	25.66	24.38	112.48
10	149.23	25.37	0.00	10	184.59	9.23	27.69	26.30	121.37
11	159.45	27.11	0.00	11	197.56	9.88	29.63	28.15	129.89
12	169.20	28.76	0.00	12	209.96	10.50	31.49	29.92	138.05
13	178.47	30.34	0.00	13	221.81	11.09	33.27	31.61	145.84
14	187.26	31.83	0.00	14	233.09	11.65	34.96	33.22	153.26
15	195.58	33.25	0.00	15	243.82	12.19	36.57	34.74	160.31
16	203.41	34.58	0.00	16	254.00	12.70	38.10	36.19	167.00
17	210.78	35.83	0.00	17	263.61	13.18	39.54	37.56	173.32
18	217.66	37.00	0.00	18	272.66	13.63	40.90	38.85	179.28
19	224.07	38.09	0.00	19	281.16	14.06	42.17	40.07	184.86
20	230.00	39.10	0.00	20	289.10	14.46	43.37	41.20	190.08
21	241.50	41.06	0.00	20	302.56	15.13	45.38	43.11	198.93
22	253.00	43.01	0.00	20	316.01	15.80	47.40	45.03	207.78
23	264.50	44.97	0.00	20	329.47	16.47	49.42	46.95	216.62
24	276.00	46.92	0.00	20	342.92	17.15	51.44	48.87	225.47
25	287.50	48.88	0.00	20	356.38	17.82	53.46	50.78	234.32
26	299.00	50.83	0.00	20	369.83	18.49	55.47	52.70	243.16
27	310.50	52.79	0.00	20	383.29	19.16	57.49	54.62	252.01
28	322.00	54.74	0.00	20	396.74	19.84	59.51	56.54	260.86
29	333.50	56.70	0.00	20	410.20	20.51	61.53	58.45	269.70
30	345.00	58.65	0.00	20	423.65	21.18	63.55	60.37	278.55
31	356.50	60.61	0.00	20	437.11	21.86	65.57	62.29	287.40
32	368.00	62.56	0.00	20	450.56	22.53	67.58	64.20	296.24
33	379.50	64.52	0.00	20	464.02	23.20	69.60	66.12	305.09
34	391.00	66.47	0.00	20	477.47	23.87	71.62	68.04	313.94
35	402.50	68.43	0.00	20	490.93	24.55	73.64	69.96	322.78
36	414.00	70.38	0.00	20	504.38	25.22	75.66	71.87	331.63
37	425.50	72.34	0.00	20	517.84	25.89	77.68	73.79	340.48
38	437.00	74.29	0.00	20	531.29	26.56	79.69	75.71	349.32
39	448.50	76.25	0.00	20	544.75	27.24	81.71	77.63	358.17
40	460.00	78.20	0.00	20	558.20	27.91	83.73	79.54	367.02

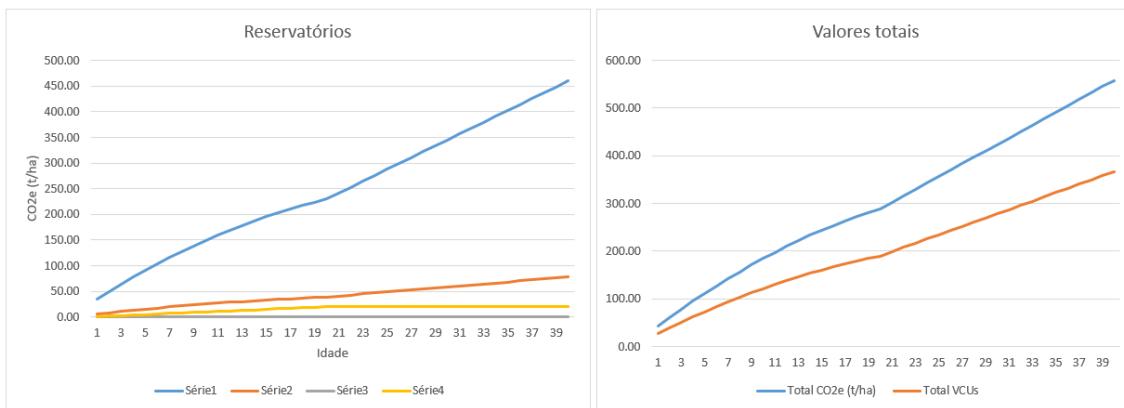


Figura 3 – Curva de acúmulo de CO₂e (t/ha) e VCUs em função do tempo para plantio comercial.

4. Conclusão

Detalhamos um estudo abrangente sobre a estimativa de estoques de carbono na FLONA Bom Futuro em Rondônia, abordando regeneração natural, plantios de restauração de alta diversidade, e plantios comerciais. Utilizando metodologias alinhadas com padrões internacionais. O estudo revela que a FLONA Bom Futuro possui um significativo potencial para o sequestro de carbono, com diferentes cenários de manejo florestal oferecendo variações no incremento médio anual de carbono acima e abaixo do solo. Os dados apresentados servem como referência para o planejamento e modelagem financeira dentro do contexto de concessões florestais para projetos de restauração.

5. Referências

NOGUEIRA, E. M. et al. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, vol. 256, no. 11, p. 1853–1867, 20 Nov. 2008. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.07.022>

IPCC. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>. Acessado em 23/03/2024.

IPCC. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nngip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. Acessado em 23/03/2024.

UNFCCC. Tool for estimation of change in soil organic carbon stocks due to the implementation of A/R CDM project activities. 2011. Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-16-v1.1.0.pdf>. Acessado em 23/03/2024.

VERRA. VM0047 Afforestation, Reforestation, and Revegetation, v1.0. 2023. Disponível em: <https://verra.org/methodologies/vm0047-afforestation-reforestation-and-revegetation-v1-0/>. Acessado em 23/03/2024.

EXTRA

BRANCALION, P. H. S. *et al.* Intensive silviculture enhances biomass accumulation and tree diversity recovery in tropical forest restoration. **Ecological Applications**, vol. 29, no. 2, p. e01847, 2019.

CHAVE, J. *et al.* Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, vol. 145, no. 1, p. 87–99, Aug. 2005.

CHAVE, J. *et al.* Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biology**, vol. 20, no. 10, p. 3177–3190, 2014.

CORDEIRO, I. M. C. C. *et al.* AVALIAÇÃO DE PLANTIOS DE PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby DE DIFERENTES IDADES E SISTEMAS DE CULTIVO NO MUNICÍPIO DE AURORA DO PARÁ - PA (BRASIL). **Ciência Florestal**, vol. 25, p. 679–687, Sep. 2015.

GARDON, F. R.; SANTOS, R. F. dos; RODRIGUES, R. R. Brazil's forest restoration, biomass and carbon stocks: A critical review of the knowledge gaps. **Forest Ecology and Management**, vol. 462, p. 117972, 15 Apr. 2020.

MONTEIRO, Daiana Carolina Antunes. **Condições topoclimáticas preferenciais para plantios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby) e evidências de desempenho para otimizar a silvicultura em áreas desflorestadas na Amazônia.** 2013. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Ecologia de Agroecossistemas, University of São Paulo, Piracicaba, 2013. doi:10.11606/D.91.2013.tde-22112013-141647. Acesso em: 2024-05-17.

PEARSON, T.; WALKER, S.; BROWN, S. Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects, 2013.

POORTER, L. *et al.* Biomass resilience of Neotropical secondary forests. **Nature**, vol. 530, no. 7589, p. 211–214, Feb. 2016.

ROLIM, SAMIR; PIOTTO, DANIEL. **Silvicultura e Tecnologia de Espécies da Mata Atlântica**, 2018.

APÊNDICE

Revisão da literatura e aspectos metodológicos

Abaixo detalhamos algumas referências que foram importantes para determinar os incrementos de carbono acima do solo.

- 1. Restauração ativa e passiva - Brazil's forest restoration, biomass and carbon stocks: A critical review of the knowledge gaps. Fernando Gardon, Rozely dos Santos, Ricardo Rodrigues (2020).**

Este estudo é uma revisão sistemática e integrativa de busca por biomassa e avaliação de carbono conduzida em restaurações ativas e passivas no Brasil. No bioma Amazônia foram encontrados 400 estudos. Nos estudos analisados nesta revisão, a AGB foi calculada utilizando equações alométricas baseadas nos atributos das plantas como diâmetro do tronco, diâmetro do tronco juntamente com a altura, área basal juntamente com a altura, área basal e combinação de diâmetro, altura e gravidade específica da madeira. Na Figura 4 abaixo, os autores compilaram os dados disponíveis na literatura de AGB para restaurações ativas (cinza claro) e passivas (cinza escuro). Os dados correspondentes ao bioma Amazônia possuem o formato de triângulo.

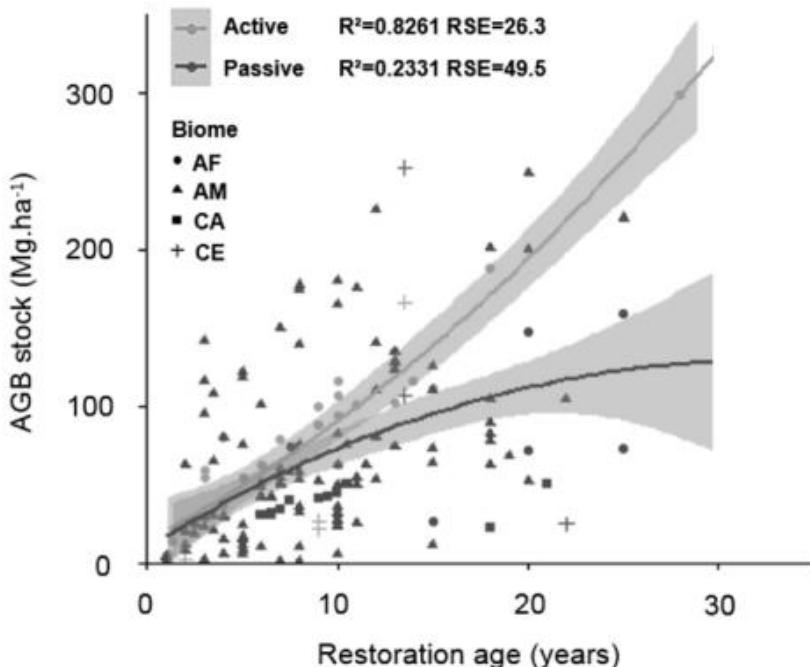


Fig. 3. Predictive polynomial models fitted to estimate AGB stock (MgAGB.ha^{-1}) in active (adjusted $R^2 = 0.82$; $p < 0.05$; Residual Standard Error = $26.3 \text{ MgAGB.ha}^{-1}$; $n = 37$; $\text{AGB} = -19.35058 + 4.00302 * \text{age} + 0.21641 * (\text{age}^2)$) and passive (adjusted $R^2 = 0.23$; $p < 0.05$; Residual Standard Error - RSE = $49.5 \text{ MgAGB.ha}^{-1}$; $n = 140$; $\text{AGB} = 10.0731 + 7.3956 * \text{age} - 0.1158 * (\text{age}^2)$) restorations as a response of age. The dark shaded line is the trend of AGB stock recovery over time observed in passive restorations among biomes, and the lightly shaded line is the trend for active restorations. The shaded areas along the predictive lines represent the confidence interval (95%) for the model. Data points were categorized by biome: AF (circle) – Atlantic Forest; AM (triangle) – Amazon; CA (square) – Caatinga; and CE (cross) – Cerrado.

Figura 4 - Figura de Gardon et al. (2020) mostrando os modelos de estoque de biomassa em função do tempo para florestas em regeneração natural (Passive) e plantio de restauração (Active).

A partir do compilado, os autores criaram uma equação para a estimativa de biomassa acima do solo (ABG) de acordo com a idade da restauração, sendo que a equação para floresta de restauração ativa é

$$\text{AGB} = -19.350558 + 4.00302 * \text{idade} + 0.21641 * (\text{idade}^2)$$

e para floresta de restauração passiva é

$$\text{AGB} = 10.0731 + 7.3956 * \text{idade} - 0.1158 * (\text{idade}^2)$$

No Anexo I (“AnexoI_Estoques.xlsx”), aba “by Gardon eq”, realizamos as simulações de incremento até 30 anos com as duas equações.

Aplicando a idade de 30 anos em ambas as equações, obtemos AGB (*above ground biomass*) de 295 Mg e 127 Mg (507,5 e 218,5 Mg de CO₂e) para restauração ativa e passiva, respectivamente. Para o incremento médio anual os valores são, respectivamente, **16,9 e 7,3 CO₂e por hectare ano**. Foi a partir desse estudo que fixamos o incremento de 17, até os 20 anos, para os plantios de restauração.

Na [Matéria da re.green no Globo Rural](#) eles mencionam incremento em torno de 5 Mg C (18,3 Mg CO₂e) por hectare ano, no caso dos plantios de restauração.

2. Análise comparativa de estoques de carbono

Fernando Gardon e colaboradores publicaram um resumo no evento do Centro de Carbono da Esalq em 2023 realizando comparações dos estoques da Amazônia vs Mata Atlântica:

“Estimativas de carbono em florestas regeneradas na Mata Atlântica e Amazônia brasileira. Fernando Ravanini Gardon, Ricardo Ribeiro Rodrigues, Rozely Ferreira dos Santos * fernandogardon@hotmail.com/fernando.gardon@re.green

O sequestro de carbono por florestas em restauração contribui para a redução dos efeitos das mudanças climáticas. Considerando que os biomas mais representativos de ecossistemas florestais brasileiros são a Mata Atlântica e a Amazônia, é crucial que estimativas confiáveis do potencial e sequestro de carbono estejam disponíveis. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi ajustar modelos preditivos de estoque de carbono para florestas naturalmente regeneradas nos biomas Mata Atlântica e Amazônia. Para isso foram obtidos dados secundários de estoque de carbono e idade em estudos científicos publicados entre os anos 1988 e 2021, resultando em uma amostra com 166 pontos. O ajuste dos modelos para cada bioma considerou modelos lineares e não lineares (Gompertz e Chapman-Richards). A seleção do melhor modelo foi baseada na análise de Critério de Informação Bayesiano (BIC), onde o modelo com menor valor BIC foi selecionado. Os modelos que melhor se ajustam aos dados para Mata Atlântica e Amazônia são uma regressão linear simples e o modelo de Gompertz, respectivamente. Os modelos preditivos apontam que áreas regeneradas na Mata Atlântica com 20 anos de idade apresentam estoque de carbono de cerca de 37,4 tC/ha, o que representa cerca de 52% do estoque obtido para áreas regeneradas na Amazônia (71,3 tC/ha). Contudo, com cerca de 40 anos as curvas entre os biomas tendem a convergir, sendo que após 60 anos o estoque observado nas áreas regeneradas da Mata Atlântica (103,9 tC/ha) representa 66% do estoque da Amazônia (156,9 tC/ha). Os resultados evidenciam que os biomas avaliados possuem diferentes padrões na curva de acúmulo de carbono. Apesar de promissores, os resultados devem ser utilizados com cautela, uma vez que representam uma generalização de grandes territórios, sendo que análises em escalas mais refinadas podem apresentar resultados divergentes devido a condições locais e de paisagem específicas”

Segundo dados do resumo acima:

- **20 anos:** Mata Atlântica 37,4 tC/ha e Amazônia 69,3 tC/ha. Com incremento médio anual (IMA), para Amazônia, de **12,7 tCO₂e**.
- **60 anos:** Mata Atlântica 103,9 tC/ha e Amazônia 156,9 tC/ha. Com incremento médio anual (IMA), para Amazônia, de **9,6 tCO₂e**.

No Anexo I (“AnexoI_Estoques.xlsx”), aba “by Gardon 60 anos AM”, foram realizados cálculos para comparar o IMA antes e após os 20 anos de idade. **A partir destes fados, foi estimado um decréscimo do IMA, de 36.6%, após os 20 anos de idade da floresta.**

3. Restauração passiva - Biomass resilience of Neotropical secondary forests. Lourens Poorter, et al. (2016)

O estudo em questão avaliou a recuperação de AGB (*Above Ground Biomass*) em florestas secundárias do Neotrópico. Os valores estimados neste estudo apontam uma taxa de incremento anual de carbono acima do solo de 3.05 Mg C ha ano (**11,2 Mg CO₂e**). **A partir dos dados desse estudo, e da corroboração de outros, estipulamos de maneira conservadora um IMA de 11 Mg CO₂e para as florestas de restauração em regeneração.** No Anexo I (“AnexoI_Estoques.xlsx”), aba “Papers reg”, trazemos um compilado de referências para estudos de restauração com regeneração, e seus respectivos IMAs, resultando na média de **11,3 Mg CO₂e** por hectare ano.

Foi compilado dados de 45 estudos com consequências em áreas de planícies nos Neotrópicos, compreendendo 1468 parcelas. Em cada parcela foram identificadas as espécies e medidos todos os troncos com mais de 5cm de diâmetro e estimada biomassa utilizando equações alométricas. As equações alométricas utilizadas são baseadas no diâmetro do tronco somente (Pearson et al. 2005) e na combinação de diâmetro do tronco e densidade da madeira (Chave et al. 2005; Chave et al. 2014). Para cada área, a biomassa acima do solo (AGB) foi modelada em função do tempo desde o abandono da área (última principal atividade humana). A regressão obtida neste estudo relacionando AGB após 20 anos do abandono com variáveis climáticas foi:

$$\text{AGB 20 years} = 135.17 - 103.950 \times 1/\text{precipitação} + 1.521983 \times \text{precipitação sazonal} + 0.1148 \times \text{climatic water deficit (CWD)}$$

Pearson, R., Walker, S. & Brown, S. Source Book for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects (World Bank, 2005).

Chave, J. et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia 145, 87–99 (2005).

Chave, J. et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Glob. Change Biol.* 20, 3177–3190 (2014).

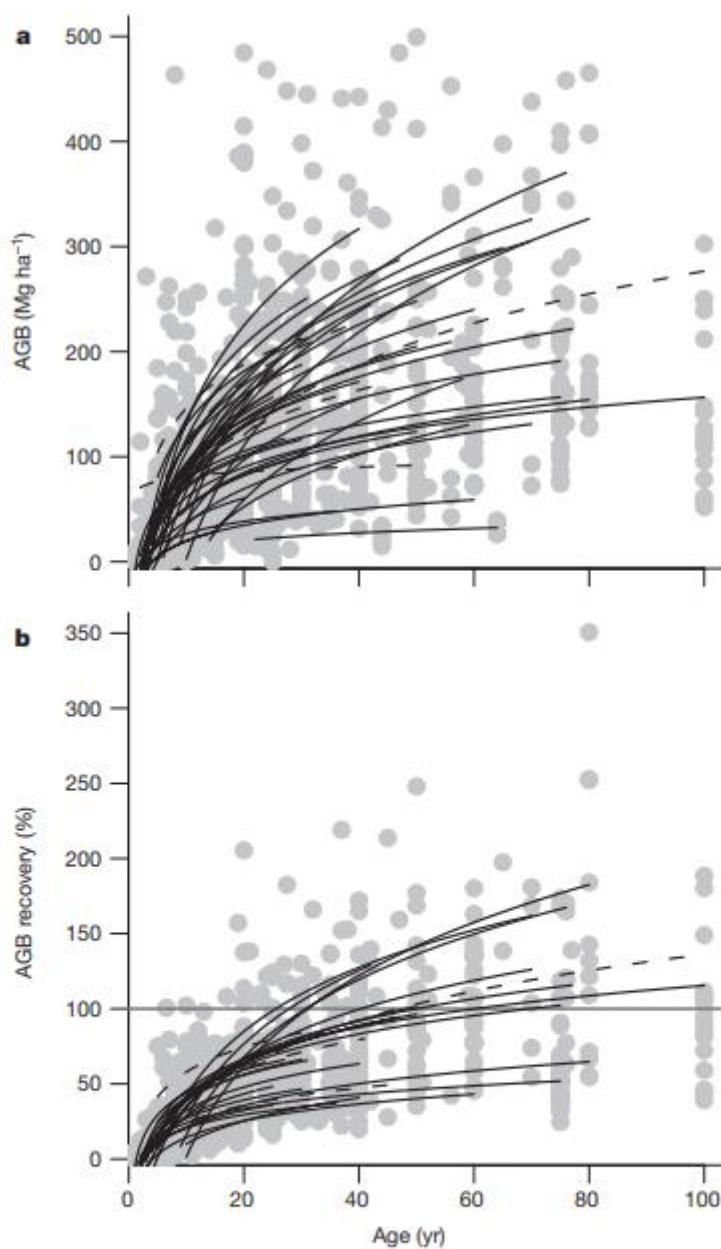


Figure 1 | Relationship between forest biomass and stand age using chronosequence studies in Neotropical secondary forest sites.
a, AGB ($N=44$); **b**, AGB recovery ($N=28$). Each line represents a different chronosequence. The original plots on which the regression lines are based are indicated in grey ($N=1,364$ for AGB, $N=995$ for AGB recovery). AGB recovery is defined as the AGB of the secondary forest plot compared with the median AGB of old-growth forest plots in the area, multiplied by 100. Significant relations (two-sided $P \leq 0.05$) are indicated by continuous lines; non-significant relationships (two-sided $P > 0.05$) are indicated by broken lines. Plots of 100 years old are also second-growth. See Extended Data Fig. 4 for the same figure with plots colour-coded by forest type.

Figura 5 - Figura de Poorter et al. (2016) mostrando: (a) as curvas de estoque de biomassa em função do tempo para florestas secundárias e (b) a curva de recuperação dessas florestas ao longo do tempo em relação a florestas maduras regionais.

Este gráfico do estudo mostra cronosequência, representadas por linhas, para cada parcela de floresta em estudo. Interessante notar, que de maneira geral as florestas atingem o estoque das florestas maduras regionais em torno de 50 anos de idade. Mostramos a corroboração das nossas estimativas de IMA atingindo o máximo local (cerca de 510 Mg CO₂e) próximo dos 50 anos no Anexo 1, aba “by Gardon 60 anos AM”.

4. Restauração ativa com plantio de mudas nativas - Intensive silviculture enhances biomass accumulation and tree diversity recovery in tropical forest restoration. Pedro Brancalion, et al. (2018).

Neste estudo os autores mostram que o uso de silvicultura intensa, utilizando 20 espécies, atingiu acúmulo de AGB em 12 anos de 75 Mg AGB/ha. Ao transformar isso para incremento médio anual o valor é de 6.25 Mg AGB ha⁻¹ year⁻¹ (**11,11 Mg CO₂e**). Esses valores corroboram com a equação de Gardon et al. (2020) para florestas plantadas, estimando incremento médio anual de 12 Mg CO₂e aos 12 anos e de 11 Mg CO₂e entre 13-16 anos de idade (Anexo I (“AnexoI_Estoques.xlsx”), aba “by Gardon eq”).

O experimento está localizado na estação experimental de Anhembi do departamento de Ciências Florestais da Universidade de São Paulo, na cidade de Anhembi. Teve início em 2004, em uma área de pastagem coberta pela gramínea exótica *Urochloa decumbens*. As gramíneas foram controladas com uso de glifosato, e então iniciou-se o plantio das mudas. A área do experimento foi implementada com o design de blocos aleatórios, com 4 réplicas, em parcelas de 42 x 30 m. O experimento objetivou a isolar as feições mais frequentes em silvicultura intensiva, que são: (i) abundância de espécies de crescimento rápido, (ii) densidade de indivíduos e (iii) fertilização do solo/controle de pragas. O experimento contou a plantação de 20 espécies diferentes mais as espécies colonizadas, i.e., espécies que não foram plantadas.

Para a quantificação de biomassa foi desenvolvida uma equação alométrica baseada na densidade da madeira com medições específicas das espécies e medidas de biomassa dendrométricas e destrutivas de 4 árvores por espécie. A equação utilizada foi:

$$\ln(AGBw) = 6,039 + 0,945 \times \ln(SA) + 0,961 \times \ln(Ht) + 1,022 \times \ln(\rho)$$

Onde AGBw é a biomassa de madeira acima do solo (kg); SA é área basal medida no diâmetro do tronco (0.3m acim do solo; m²); Ht é a altura (m); ρ é a gravidade específica da madeira (g/cm³).

No gráfico abaixo os autores mostram a comparação de acúmulo de biomassa acima do solo (AGB) em relação ao ano de plantio, e seus diferentes tratamentos, indo do usual ao intensivo.

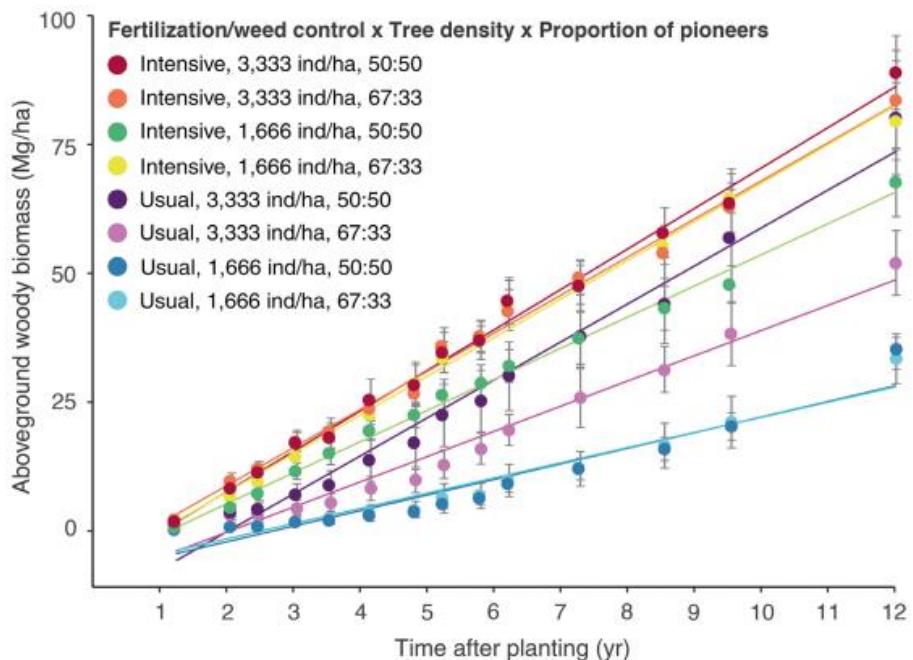


FIG. 2. Aboveground woody biomass accumulation in an experimental tree plantation managed under contrasted silvicultural intensity treatments in the Atlantic Forest of Brazil. Usual and intensive refer to the intensity of the fertilization and wood control, the numbers of individuals (ind.) per hectare refer to the tree density of the planting, 50:50 and 67:33 refer to the proportion of pioneers species in the planting (50% and 67%, respectively).

Figura 6 - Figura de Brancalion et al. (2018) mostrando a biomassa em função do tempo para os diferentes tratamentos de plantios de restauração.

5. MR 1 do projeto da ONF “Multi-Species Reforestation in Mato Grosso, Brazil”, ID VERRA: 665. Monitoramento feito em 2009, após 10 anos da data de início projeto.

ID stratum	Stratum	Mean carbon stock (tC.ha ⁻¹)	Area (ha)	Mean carbon stock in stratum (tC)	Number of sample plots required	Number of sample plots made
P01	Simaruba amara_7m x 7m_1999	30.75 +/- 14.17	29.42	904.58	2	2
P02	Simaruba amara_5m x 4m_1999	15.07 +/- 7.67	52.06	784.34	7	9
P03	Simaruba amara_3m x 3m_2000	52.92 +/- 18.45	29.31	1 551.02	2	6
P04	Simaruba amara_3m x 2m_2000	24.74 +/- 3.90	5.44	134.56	1	2
P05	Spondias mombin_5m x 4m_1999	47.86 +/- 18.18	50.54	2 418.73	3	11
P06A	Spondias mombin_6m x 3m_1999	34.82 +/- 47.13	35.25	1 227.39	3	3
P06B	Spondias mombin_6m x 3m_2005	22.59 +/- 8.63	26.12	590.11	2	4
P07A	Spondias mombin_3m x 3m_1999	29.81	2.11	62.89	1	1
P07B	Spondias mombin_3m x 3m_2000	32.29	5.58	180.15	1	1
P08A	Spondias mombin_3m x 2m_1999	38.66 +/- 17.77	11.61	448.80	1	2
P08B	Spondias mombin_3m x 2m_2000	39.62	1.13	44.78	1	1
P08C	Spondias mombin_3m x 2m_2001	56.16 +/- 22.81	30.98	1 739.83	1	7
P09	Tabebúa sp._7m x 7m_1999	31.59 +/- 8.18	13.68	432.20	2	2
P10	Tabebúa sp._5m x 4m_1999	20.10 +/- 10.95	54.12	1 087.83	17	19
P11	Tabebúa sp._3m x 2m_1999	59.01	2.69	158.74	1	1
P12	Tectona grandis_3m x 3m_2001	42.70 +/- 15.26	51.47	2 198.02	3	14
P13	Tectona grandis_3m x 2m_2001	52.69 +/- 15.58	29.73	1 566.45	1	13
P14	Ficus sp._6m x 3m_2002	22.38 +/- 4.35	36.83	824.15	2	73
P15	Natural regeneration_NA_NA	6.64 +/- 4.30	43.26	287.22	11	21
P16	Mixed species_7m x 7m_1999	35.40 +/- 5.53	156.82	5 552.12	45	45
P17A	Mixed species_5m x 4m_1999	21.39 +/- 4.52	257.94	5 517.47	68	90
P17B	Mixed species_5m x 4m_2000	60.41	12.59	760.55	1	1
P18	Mixed species_6m x 3m_2002	10.53 +/- 5.66	40.53	426.71	5	22
P20A	Mixed species_3m x 2m_1999	39.71	2.76	109.59	1	1
P20B	Mixed species_3m x 2m_2000	41.27 +/- 79.19	12.96	534.80	1	2
P20C	Mixed species_3m x 2m_2001	34.52 +/- 12.49	95.23	3 287.60	8	42
Total carbon stock in ABG and BGB within project boundary, in tones of carbon (tC)				32 830.65	191	395
				1 090.16		

Figura 7 - Tabela do MR2011 (10 anos) do projeto ARR da ONF no Mato Grosso com os valores de estoque de carbono para os diferentes estratos florestais amostrados, incluindo informações como área e número de parcelas amostradas por estrato.

No total de 32.830 tC está incluso *living-trees*, onde foi usando fator de 0.2 para *belowground* e fator de carbono de 0.5. Teve um acréscimo de 5.450,80 tC, com a inclusão do SOC, o que representa uma IMA de cerca de 1,7 CO₂e, por hectare ano. Plantios neste período de monitoramento tem entre 7 e 10 anos de idade.

A partir dos dados da tabela acima (ver Anexo 1, aba “MR2011 ONF”), calculamos a média de incremento de CO₂e por estrato (usando FC de 0.47 e considerando apenas acima do solo):

Incrementos medios Estrato	
Simaruba amara (Caxeta)	9.09
Spondias mombin (Caja)	12.31
Tabebuia (Ipe)	10.16
Tectona Grandis (Teca)	16.41
Ficus (Figueira)	8.80
Mixed species	10.52

Figura 8 - Estimativas de incremento médio dos estratos (Anexo 1, aba “MR2011 ONF”).

Ou seja, o plantio de restauração teve um IMA em torno **10,5 Mg CO₂e** nos primeiros 7-10 anos, corroborando com estudo de Brancalion e estimativas do modelo de Gardon et al (2020). Já os plantios comerciais tiveram IMA em torno de **8,8 a 12,3**, menos a Teca que teve um IMA de **16,4**.

6. Paricá - “Condições topoclimáticas preferenciais para plantios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke Barneby) e evidências de desempenho para otimizar a silvicultura em áreas desflorestadas na Amazônia”

[Dissertação de mestrado de Daiana Carolina Antunes Monteiro.](#)

Potencial topoclimático	Idade (meses)	Espaçamento	Volume (m ³ .ha ⁻¹)	G (m ² .ha ⁻¹)	IMAd (cm)	IMAh(m)	IMA _V (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Fonte
Alto	64	4m x 3m	114,5	13,4	3,0	3,2	21,5	Monitorado
Alto	64	4m x 3,5m	179,4	19,1	3,4	3,7	33,8	Monitorado
Alto	38	3,5 m x 3m	122,3	15,7	4,1	4,8	38,6	Monitorado
Médio	60	3m x 5m	138,5	17,2	3,7	3,2	27,7	Silvicultor
Médio	36	3m x 3,5m	84,6	10,9	4,2	4,9	28,3	Silvicultor
Médio	35	3m x 3m	107,2	14,8	4,5	4,6	36,8	Silvicultor

Em que: G é igual à área basal; IMAd é o incremento médio em diâmetro; IMAh é o incremento médio em altura; IMAV é o incremento médio em volume.

Figura 9 - Tabela de Monteiro 2013 com IMA, em volume, para os plantios de Paricá.

Considerando densidade do Paricá em torno de 0,5 g/cm³, a média de incremento médio anual, dado os valores da tabela acima (coluna “IMA_V”), é de 15,6 toneladas por hectare ano de biomassa seca, o que equivale a **26,8 tCO₂e**. Para sermos conservadores podemos adotar IMA do Paricá de **25 tCO₂e** por hectare ano.

Esse valor corrobora com o estudo de Cordeiro et al. 2015 (“*Avaliação De Plantios De Paricá De Diferentes Idades E Sistemas De Cultivo No Município De Aurora Do Pará*”), com incremento de **25 tCO2e** por hectare ao ano (figura abaixo).

TABLE 5: Average of volume/ha of Paricá for six systems of culture to 36 months after the implantation of the experiment. Experiment conduct in an area owned by ‘Tramontina Belém S.A’, in Aurora do Pará city (Pará state, Brazil).

Idade (anos)	Experimentos	Sistemas de cultivos (tratamentos)	Volume (m^3/h^{-1}) ($X \pm s$)	CV (%)
3	A	SAFpc	152,84±23,80	15,57
		MONp	87,20±17,51	20,08
4	B	SAFpfc	161,57±11,01	6,81
		CONpf	97,50±11,77	12,07
5	C	SAFpmfc	144,73±20,86	14,41
		CONpmf	100,57±10,07	10,01

Em que: SAFpc = Sistema agroflorestal de paricá e curauá; MOCp = Monocultivo de paricá; SAFpfc = Sistema agroflorestal de paricá; CONpf = Consórcio paricá e freijó; SAFpmfc = Sistema agroflorestal paricá, mogno, freijó e curauá; CONpmf = Consórcio paricá, mogno e freijó.

Figura 10 - Tabela de Monteiro 2013 com volume total de Paricá para os diferentes experimentos, incluindo plantio em monocultivo.

7. Outras espécies de interesse comercial. *Silvicultura e Tecnologia de Espécies da Mata Atlântica. Rolim e Piotto (2018)*.

Este documento traz um descritivo de várias espécies de interesse comercial da Amazônia e/ou Mata Atlântica, bem como estimativas de produção incluindo estimativas de estoques de biomassa, em sua maioria, aos 35 anos de idade. Abaixo apresentamos o fluxograma do documento descrevendo as espécies contempladas, e uma tabela com compilado de algumas espécies estimando o incremento em CO2e por hectare ano (Anexo 1, aba “Rolim e Piotto”). **A partir dessas análises, definimos o IMA para plantios de produção em 11.5 Mg CO2e.**

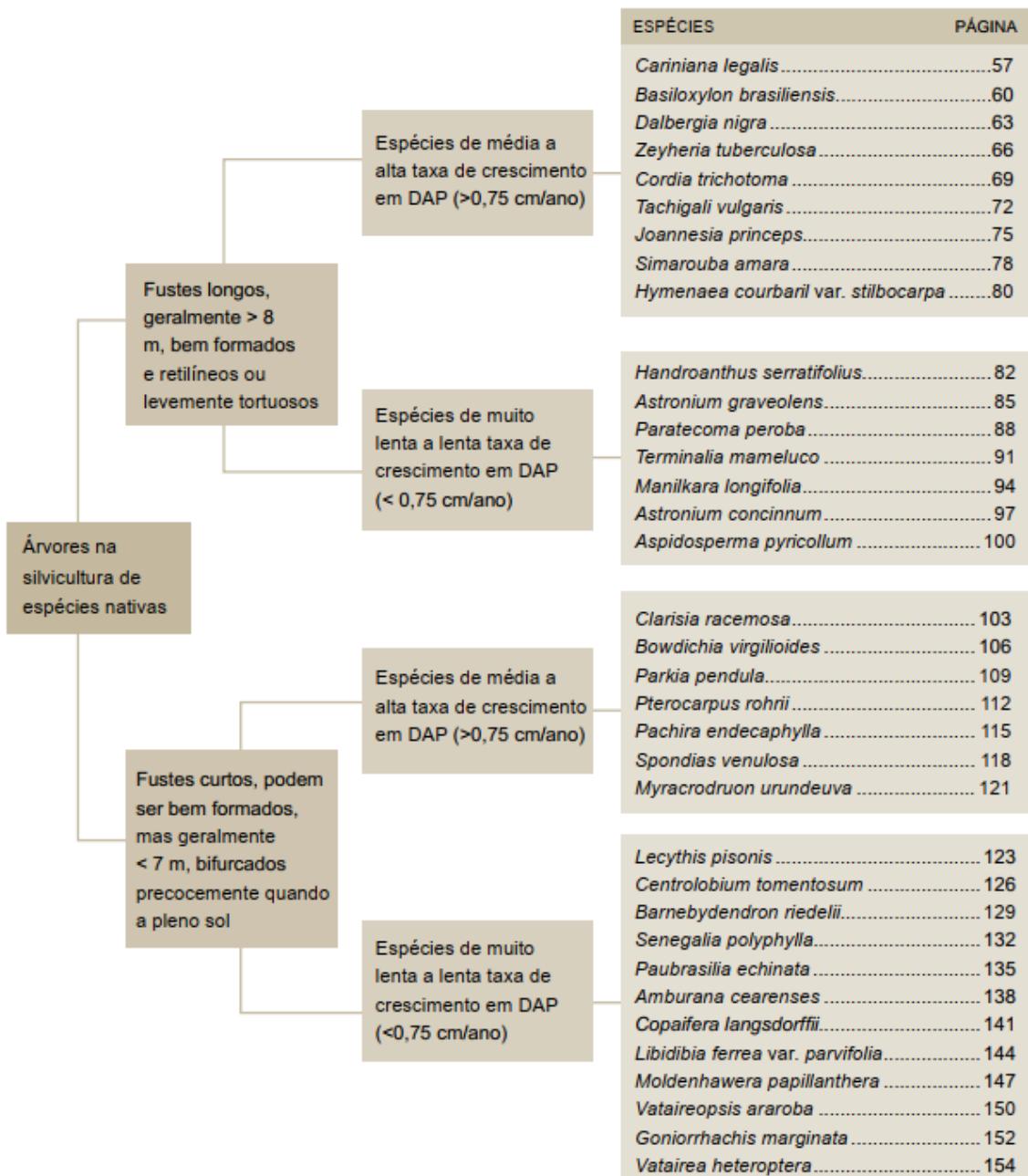


Diagrama 1: Classificação das espécies estudadas de acordo com a qualidade do fuste e com as taxas de crescimento, obtidos nos experimentos silviculturais em Linhares (ES). As espécies foram classificadas em função do crescimento diamétrico, pois para grande maioria das espécies estudadas o produto esperado das plantações é madeira sólida para usos nobres. Nesse contexto, as práticas de manejo das plantações estão focadas no diâmetro individual da árvore, ao invés do volume total de madeira produzido, ou seja, para um dado volume é preferível ter poucas árvores com grande diâmetro do que muitas árvores com pequeno diâmetro.

Figura 11 - Diagrama de espécies contempladas no livro de Rolim e Piotto (2018).

Especie	Taxa de crescimento	Dens (arv_ha)	WD	Idade	Biomassa	CO2e	IMA_CO2e
Cariniana legalis (Jequitibá Rosa)	media	375	0.53	35	216	372.3	10.6
Dalbergia nigra (Jacaranda da Bahia)	media	438	0.63	35	241	415.4	11.9
Zeyheria tuberculosa (Ipê Felpudo)	media	523	0.61	35	224	386.1	11.0
Simarouba amara (Marupá)	media	384 -		35	164	282.7	8.1
Hymenaea courbaril (Jatoba)	media	498 -		35	331	570.5	16.3
Handroanthus serratifolius (Ipe Amarelo)	lenta	642	0.8	35	265	456.7	13.0
Astronium graveolens (Guaritá)	lenta	662	0.72	35	242	417.1	11.9
Paratecoma peroba (Ipe Peroba)	lenta	701	0.64	35	217	374.0	10.7
Astronium concinnum (Gonçalo Alves)	lenta	1036	0.64	35	197	339.5	9.7
Parkia pendula	media	496	0.43	25	173	298.2	11.9
Paubrasilia echinata (Pau Brasil)	lenta	709	0.8	35	257	442.9	12.7
Copaifera langsdorffii (Copaíba)	lenta	737	0.55	35	190	327.5	9.4
Vatairea heteroptera (Angelim Pedra)	lenta	814 -		35	240	413.6	11.8
					Média		11.5

Figura 12 - Incremento em CO2e por hectare ano de algumas espécies e a média geral (Anexo 1, aba “Rolin e Piotto”).