



CONSULTORIA
ENGENHARIA
GERENCIAMENTO

FINATEC

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DAS MUDANÇAS NOS ESTOQUES DE CARBONO E EMISSÕES EVITADAS

PROJETO 03FIN0120

Produto 8.4

CURITIBA – PR
NOVEMBRO/2022

STCP Engenharia de Projetos Ltda.

Rua Euzébio da Motta, 450, Juvevê
Curitiba/PR - 80530-260 - +55 41 3252-5861

www.stcp.com.br |    

Sumário

1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	6
1.1	Emissões e remoções de CO ₂	6
1.2	Análise em cronosequência.....	6
1.3	Situação da bacia do rio Paraíba do Sul	7
1.4	Ações do projeto Conexão Mata Atlântica	8
2	METODOLOGIA.....	10
2.1	Mapeamento de uso da terra	10
2.2	Obtenção de dados de estoque de carbono	13
2.2.1	Dados primários	13
2.2.2	Dados secundários	16
2.2.3	Valores atribuídos	16
2.3	Simulação das emissões evitadas de CO ₂	18
2.4	Cenários avaliados.....	19
2.4.1	Cenário 1: Teórico otimista	19
2.4.2	Cenário 2: Teórico pessimista	19
2.4.3	Cenário 3: Análise em cronosequência 1 (mudança em 100% no uso de pastagem em floresta na bacia do rio Paraíba do Sul)	19
2.4.4	Cenário 4: Análise em cronosequência 2 (mudança em 50 % no uso de pastagem para floresta e 50 % para SAF na área de atuação do projeto Conexão Mata Atlântica)	21
2.4.5	Cenário 5: Adoção de práticas conservacionistas 1 (conversão de pastagem em SAF na bacia do rio Paraíba do Sul).....	22
2.4.6	Cenário 6: Adoção de práticas conservacionistas 2 (conversão gradual de pastagem em SAF na área de atuação do projeto Conexão Mata Atlântica)	22
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
3.1	Cenário atual	23
3.1.1	Bacia do rio Paraíba do Sul.....	23
3.1.1	Área de atuação do projeto Conexão Mata Atlântica.....	24
3.2	Cenário 1: Teórico otimista	25
3.3	Cenário 2: Teórico pessimista	26
3.4	Cenário 3: Análise em cronosequência 1 (mudança em 100% no uso de pastagem em floresta na bacia do rio Paraíba do Sul)	26
3.5	Cenário 4: Análise em cronosequência 2 (mudança em 50% no uso de pastagem para floresta e 50% para SAF na área de atuação do Projeto Conexão Mata Atlântica)	27

3.6	Cenário 5: Adoção de práticas conservacionistas 1 (conversão de pastagem em SAF na bacia do rio Paraíba do Sul).....	28
3.7	Cenário 6: Adoção de práticas conservacionistas 1 (conversão gradual de pastagem em SAF na área de atuação do projeto Conexão Mata Atlântica).....	29
3.8	Síntese dos resultados.....	30
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
5	REFERÊNCIAS.....	34



Lista de Figuras

Figura 1.	Evolução histórica do uso e ocupação da terra na bacia do Paraíba do Sul	8
Figura 2.	Esquemática da amostragem de flora adotada.....	13
Figura 3.	Estoque de carbono nos diferentes usos a partir dos dados de monitoramento	16
Figura 4.	Área de pastagem	20
Figura 5.	Área de vegetação secundária em estágio pioneiro	20
Figura 6.	Área de floresta secundária em estágio inicial	21
Figura 7.	Área de floresta secundária em estágio médio/avançado	21
Figura 8.	Participação dos usos do solo em estoque de carbono (%) na bacia do rio Paraíba do Sul	24
Figura 9.	Participação dos usos do solo em estoque de carbono (%) na área de atuação do projeto Conexão Mata Atlântica.....	25
Figura 10.	Estoque de carbono e sequestro de CO ₂ na bacia do rio Paraíba do Sul analisado em cronosequência – Cenário 3	27
Figura 11.	Estoque de carbono e sequestro de CO ₂ na área de atuação do projeto analisado em cronosequência – Cenário 4	28
Figura 12.	Estoque de carbono e sequestro de CO ₂ na bacia do rio Paraíba do Sul considerando adoção de práticas conservacionistas – Cenário 5	29
Figura 13.	Estoque de carbono na área de atuação do projeto considerando adoção de práticas conservacionistas – Cenário 6.....	30
Figura 14.	Evolução no estoque de carbono de acordo com área ocupada na área de atuação do projeto	31
Figura 15.	Comparação dos cenários estabelecidos	31

Lista de Tabelas

Tabela 1.	Uso e ocupação da terra na bacia do Paraíba do Sul	8
Tabela 2.	Categorias do uso de solo adotadas.....	10
Tabela 3.	Uso do solo na bacia do rio Paraíba do Sul de acordo com SOS Mata Atlântica	11
Tabela 4.	Municípios envolvidos na área de atuação direta do projeto Conexão Mata Atlântica...	12
Tabela 5.	Uso do solo na área de atuação direta do projeto Conexão Mata Atlântica	12
Tabela 6.	Grau de decomposição para classificação de madeira morta.	14
Tabela 7.	Densidade básica média da madeira morta para os diferentes graus de decomposição.	15
Tabela 8.	Estoque de carbono para as classes de uso de solo a partir de dados secundários	18
Tabela 9.	Evolução no uso do solo ao longo do tempo simulada no Cenário 3	20
Tabela 10.	Evolução no uso do solo ao longo do tempo simulada no Cenário 4	21
Tabela 11.	Evolução no uso do solo ao longo do tempo simulada no Cenário 6	22
Tabela 12.	Estoque de carbono na bacia do rio Paraíba do Sul de acordo com o uso do solo – Cenário atual	23
Tabela 13.	Estoque de carbono na área de atuação do projeto Conexão Mata Atlântica de acordo com o uso do solo – Cenário atual	24
Tabela 14.	Projeções de estoque de carbono e remoção de CO ₂ em análise cronossequencial na área da bacia do rio Paraíba do Sul – Cenário 3.....	26
Tabela 15.	Projeções de estoque de carbono e remoção de CO ₂ em análise cronossequencial na área da bacia de atuação do projeto – Cenário 4	27
Tabela 16.	Projeções de estoque de carbono e remoções de CO ₂ considerando a relação SAF/pastagem (%)	29

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.1 Emissões e remoções de CO₂

O efeito estufa é um processo natural que ocorre na atmosfera da Terra devido à presença de gases (GEE) que absorvem grande parte da radiação solar emitida e permite com que a superfície terrestre tenha uma temperatura maior do que ocorreria sem a atmosfera (XAVIER & KERR, 2011).

As atividades humanas desde a industrialização têm, contudo, elevado a presença de alguns GEEs na atmosfera resultando no aumento médio da temperatura global e influenciando nas mudanças climáticas. Os principais gases que contribuem para o aumento do efeito estufa são o CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (metano), N₂O (óxido nitroso), O₃ (ozônio) e os CFCs (clorofluorcarbonos).

Cada um dos gases citados possui um GWP (*Global Warming Potential* – Potencial de Aquecimento Global), para o qual o CO₂ apresenta valor 1, o CH₄, 21, e o N₂O, 310. Apesar do dióxido de carbono possuir o menor GWP, este gás se encontra em maiores quantidades na atmosfera e é o mais representativo no aquecimento, contribuindo por cerca de 60% no efeito estufa (IPCC, 2007). As principais fontes de emissão de CO₂ na atmosfera são o uso de combustíveis fósseis, deflorestação e alteração dos usos do solo.

De acordo com os dados publicados na mais recente Comunicação Nacional do Brasil à Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, em 2016, as emissões totais de GEE totalizaram 1467 Tg CO₂e (equivalente é uma forma de representar todos os GEEs como se fossem CO₂ de acordo com o GWP de cada um).

O setor de Agropecuária contribuiu para a maior parte das emissões, de 33,2%, seguido pelos setores de Energia, LULUCF (*Land Use, Land – Use Change and Forestry*: Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas), IPPU (*Industrial Processes and Product Use*: Processos Industriais e Uso de Produtos) e Resíduos, que representaram 29%, 27%, 6,4% e 4,5% das emissões, respectivamente. Destaca-se que o setor LULUCF apresentou a maior variação no período 2010-2016, de 57,6%.

As emissões considerando apenas o CO₂ no ano de 2016 segundo a Comunicação Nacional totalizaram 873.272 Gg, sendo que os setores de Energia e LULUCF foram os responsáveis pela maior parte, de 46,0 e 41,8%. Os demais setores contribuíram para o restante.

O relatório também apresenta as remoções de CO₂ da atmosfera na análise do setor LULUCF, onde a conversão de outras áreas para floresta impactou numa remoção de 347.821 Gg de CO₂ da atmosfera. Nota-se, portanto, que a mudança no uso do solo pode servir tanto como uma fonte de emissão de dióxido de carbono quanto ser uma maneira de remover a presença deste GEE, pelo processo de estoque do carbono na vegetação.

1.2 Análise em cronosequência

O bioma Mata Atlântica é uma das maiores áreas de floresta tropical no planeta e apresenta uma altíssima biodiversidade. Atualmente, restam apenas 12% de sua cobertura original e apesar da degradação a qual foi submetido, o bioma ainda abriga altos níveis de riqueza e endemismos, sendo considerado um “*hotspot*”, ou seja, uma área estratégica na preservação e manutenção da

biodiversidade (SOS MATA ATLÂNTICA, 2008).

No século XX houve uma alta taxa de desmatamento nas florestas tropicais do planeta, fazendo com que parte considerável das florestas encontradas hoje não se trata de florestas primárias, ou seja, ainda não alteradas pelas ações humanas. Na Mata Atlântica, entre 1985 e 2021, estima-se que foram regenerados 8,8 milhões de hectares em vegetação secundária, fazendo com que essas representem 26% da cobertura total do bioma (SOS MATA ATLÂNTICA, 2022).

A regeneração florestal ocorre sobre uma área desmatada que anteriormente continha floresta, na qual o processo sucessional segue uma progressão de estágios que resultam em mudanças na composição e estrutura florestal ao longo do tempo (CHAZDON, 2012, MEIRELLES, 2015). Os estágios sucessionais de uma floresta normalmente são definidos por critérios de biomassa, estrutura de idade, tamanho de população de árvores e composição de espécies. No Brasil, há uma série de resoluções publicadas pelo CONAMA que define critérios para classificação de estágios sucessionais de florestas de acordo com as formações florestais de cada estado.

O conhecimento sobre as sucessões em florestas deriva principalmente de estudos em cronossequência, nos quais são avaliadas áreas distintas em relação ao tempo do abandono ou distúrbio causado e que apresentam similaridade em relação às condições ambientais e tenham sido submetidas historicamente aos mesmos usos de solo (CHAZDON, 2012).

A análise em cronossequência do estoque de carbono no âmbito do Projeto Conexão Mata Atlântica considera os estudos realizados nas diferentes áreas estabelecidas, no qual foram avaliados diferentes usos do solo, desde áreas ainda em situação de degradação, áreas em restauração e florestas em diferentes estágios.

1.3 Situação da bacia do rio Paraíba do Sul

Com condições climáticas favoráveis e solo propício ao cultivo do café, a região do Paraíba do Sul, e por consequência o bioma Mata Atlântica, tiveram a paisagem intensamente transformada em decorrência da instalação de grandes fazendas e latifúndios (SILVA, 2002; TOTTI, 2008). Foi nesse período que, de forma desordenada, as formações de Mata Atlântica nativa foram intensivamente derrubadas para que fossem estabelecidas extensas plantações de café no vale, seguindo o modelo colonial das *plantations*. A adoção de um modelo intensivo de uso sem um manejo adequado levou à exaustão os solos existentes na bacia (ELIZEU & VICTAL, 2011).

A bacia do rio Paraíba do Sul localiza-se inteiramente no bioma Mata Atlântica, abriga cinco milhões de habitantes, segundo o Censo 2000 do IBGE, e concentra ainda polos industriais, petroleiros e portuários de grande importância no contexto nacional, representando 70% do PIB nacional.

Apesar da degradação, a *Conservation International* (CI) apontou a Mata Atlântica entre os cinco conjuntos de ecossistemas mais importantes para a conservação da biodiversidade do planeta, considerando sua importante contribuição para que o Brasil seja o campeão em megadiversidade do mundo, além de contribuir também com os estoques de carbono e ser uma estratégica fonte de água e alimento.

Quanto ao contexto de uso e ocupação da terra na BH do Paraíba do Sul, os dados da Fundação SOS Mata Atlântica indicam que a bacia apresenta 27,6% do uso da terra com cobertura florestada e 68%

com pasto e agricultura (Tabela 1). Destes 68% de uso agropecuário, em média 74% é ocupado por pastagem e as demais porcentagens são distribuídas entre culturas agrícolas e mosaicos de pastagem e agricultura.

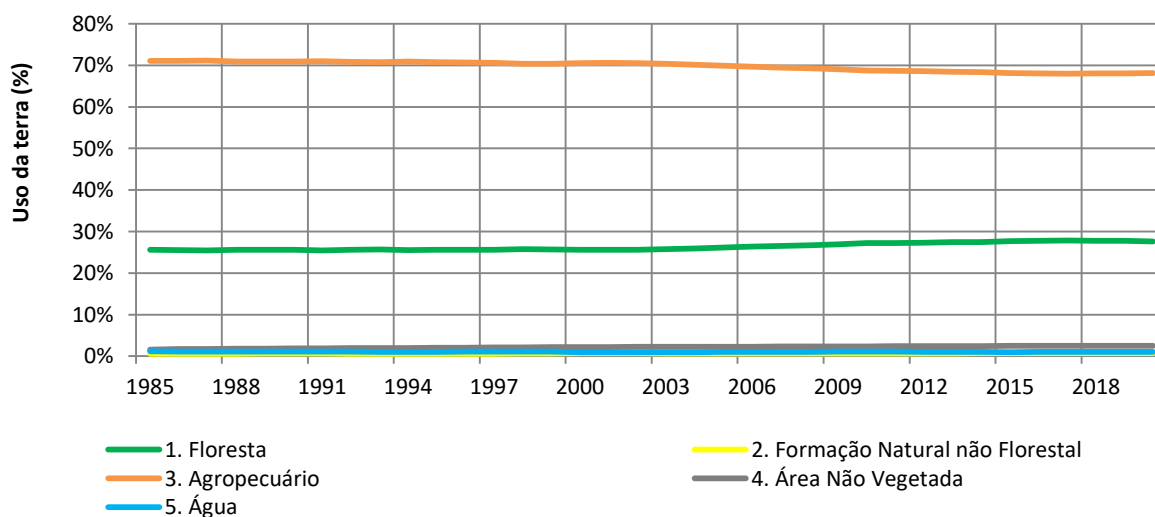
Tabela 1. Uso e ocupação da terra na bacia do Paraíba do Sul

Uso e Ocupação da Terra	Área Total (ha)	%
Floresta	1561063	27,60%
Formação Natural não Florestal	38894,56	0,70%
Agropecuário	3856139	68,20%
Área Não Vegetada	142705,2	2,50%
Água	58701,28	1,00%

Fonte: Fundação SOS Mata Atlântica (2022). Adaptado por STCP Engenharia de Projetos Ltda. (2022)

Quanto às conversões de uso e ocupação da terra, desde 1985 a região apresentou pouca oscilação (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), sendo evidente um acréscimo de 8% de área de floresta entre 1985-2020, e redução de 4% da área destinada à agropecuária. Porém, os acumulados impactos da antropização acrescidos do atual modelo de intensificação agrícola resultaram em perda de biodiversidade, de função ecológica, e de serviços ecossistêmicos na bacia. Uma das consequências da intensificação agrícola foi a simplificação e homogeneização da paisagem, predominando pastos muitas vezes degradados com pouca biodiversidade e acúmulo de processos erosivos.

Figura 1. Evolução histórica do uso e ocupação da terra na bacia do Paraíba do Sul



Fonte: Fundação SOS Mata Atlântica (2022). Adaptado por STCP Engenharia de Projetos Ltda. (2022)

1.4 Ações do projeto Conexão Mata Atlântica

Considerando a importância estratégica da Mata Atlântica no fornecimento de serviços essenciais como: abastecimento de água, regulação do clima, agricultura, pesca, energia elétrica e turismo, é de fundamental relevância monitorar e recuperar a floresta remanescente, de modo a promover desenvolvimento rural sustentável, a redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), à preservação de áreas protegidas, florestas, biodiversidade e água. Além de fortalecer a gestão territorial e à governança

ambiental da legislação que protege a Mata Atlântica.

Neste contexto, o projeto Conexão Mata Atlântica (Projeto de Recuperação e Proteção dos Serviços do Clima e da Biodiversidade do Corredor Sudeste da Mata Atlântica Brasileira) reconhece a importante contribuição do bioma Mata Atlântica ao meio ambiente e beneficia, por meio de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), os proprietários rurais que adotam ações de conservação de floresta nativa, recuperam áreas degradadas e implementam práticas produtivas sustentáveis.

O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) é um instrumento econômico que, seguindo o princípio Protetor-Recebedor, recompensa e incentiva aqueles que provêm serviços ambientais, melhorando a rentabilidade das atividades de proteção e uso sustentável de recursos naturais (PERES E RIBEIRO, 2019).

O Projeto Conexão Mata Atlântica é financiado pelo Global Environment Facility (GEF), por meio do Banco Interamericano do Desenvolvimento (BID) e tem como órgão executor a Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos (Finatec). O projeto será executado em áreas focais contidas no corredor sudeste da Mata Atlântica, nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. O Projeto está organizado em três componentes:

- Componente 1 (C1) – Fortalecimento da capacitação institucional para manejo e monitoramento dos estoques de carbono e da biodiversidade;
- Componente 2 (C2) - Incremento dos estoques de carbono na Bacia do Rio Paraíba do Sul (BRPS);
- Componente 3 (C3) - Incremento da efetividade e sustentabilidade financeira das unidades de conservação no Corredor Sudeste da Mata Atlântica do Brasil.

Sendo as análises aqui contempladas compõem a execução do Componente 1 (C1). O objetivo deste componente é avaliar indicadores que apontem para mudanças em decorrência das alterações de uso do solo provocadas pelo projeto, tais como: (i) estoques e sumidouros de carbono, (ii) estimativas de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), (iii) alterações na biodiversidade, (iv) estado de conservação do solo, e (v) produção/qualidade da água.

As avaliações necessárias para o Componente 1 ocorreram por meio do levantamento de dados *in situ* em alguns imóveis rurais aderentes ao Projeto. Segundo dados de divulgação do projeto em torno de 450 produtores rurais foram contratados como prestadores de serviços ambientais e, conseqüentemente, garantiram a conservação de 5,5 mil hectares da Mata Atlântica. Além do PSA, o projeto Conexão Mata Atlântica também atua na capacitação de boas práticas agrícolas e pecuárias, cujo foco principal é a sustentabilidade. Desde o início do projeto, mais de 1.500 produtores já foram habilitados para correto manejo da água, do solo e desenvolvimento de práticas conservacionistas.

As melhorias geradas no âmbito do projeto beneficiam os proprietários rurais que usufruem da qualidade ambiental oferecida por este bioma, e estes, por sua vez, retribuem com serviços ecossistêmicos a este bioma que é considerado um *hotspot* mundial em biodiversidade e endemismo.

2 METODOLOGIA

Os tópicos a seguir abordam a metodologia utilizada para realizar a avaliação do estoque de carbono (sequestro ou emissões) comparando a linha de base (cenário atual) e cenários propostos, utilizando dados de referência secundários. Ressalta-se que para os cenários aqui considerados foram avaliados somente os estoques de carbono (emissões ou remoções de CO₂) no que se refere à mudança da vegetação, não sendo considerados os prováveis ganhos no solo.

2.1 Mapeamento de uso da terra

A distribuição espacial do conteúdo de carbono contido na vegetação (estoque de carbono acima do solo) foi observada a partir do mapeamento de usos da terra do projeto SOS Mata Atlântica (ano de referência 2020) e suas classes de uso (Tabela 2).

Tabela 2. Categorias do uso de solo adotadas

Classe	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Floresta	Formação Florestal	-	-
	Formação Savânica	-	-
	Mangue	-	-
	Restinga Arborizada	-	-
Formação Natural não Florestal	Campo Alagado e Área Pantanosa	-	-
	Formação Campestre	-	-
	Apicum	-	-
	Afloramento Rochoso	-	-
	Restinga Herbácea	-	-
Agropecuária	Outras Formações não Florestais	-	-
	Pastagem	-	-
	Agricultura	Lavoura Temporária	Soja
			Cana
			Arroz
			Algodão
			Outras Lavouras Temporárias
			Café
	Lavoura Perene	Citrus	
		Outras Lavouras Perenes	
Silvicultura	-	-	
Mosaico de Usos	-	-	
Área não Vegetada	Praia, Duna e Areal	-	-
	Área Urbanizada	-	-
	Mineração	-	-
	Outras Áreas não Vegetadas	-	-
Corpo D'água	Rio, Lago e Oceano	-	-
	Aquicultura	-	-
Não Observado	-	-	-

Em negrito: classes encontradas na área do projeto.

Fonte: SOS Mata Atlântica (2020).

A partir do processamento dos arquivos disponibilizados pela SOS Mata Atlântica em *software* de geoprocessamento foi possível quantificar o quanto cada um dos usos apresentados representa na totalidade da área da bacia, em valores absolutos e percentuais (Tabela 3).

Tabela 3. Uso do solo na bacia do rio Paraíba do Sul de acordo com SOS Mata Atlântica

Uso do solo	Área (ha)	(%)
Pastagem	2744279,32	48,80
Formação Florestal	1562313,28	27,79
Mosaico de Usos	900107,79	16,01
Área Urbanizada	136244,39	2,42
Outras Lavouras Temporárias	81591,40	1,45
Silvicultura	71292,44	1,27
Rio, Lago e Oceano	57014,52	1,01
Afloramento Rochoso	27034,73	0,48
Café	20436,53	0,36
Campo Alagado e Área Pantanosa	6692,35	0,12
Outras Áreas não Vegetadas	5352,05	0,10
Outras Formações não Florestais	4036,85	0,07
Aquicultura	1756,43	0,03
Restinga arborizada	1218,13	0,02
Formação Campestre	970,63	0,02
Praia, Duna e Areal	849,77	0,02
Mineração	456,04	0,01
Cana	436,41	0,01
Mangue	368,63	0,01
Outras Lavouras Perenes	118,16	0,00
Formação Savânica	37,20	0,00
Soja	23,04	0,00
Citrus	1,93	0,00

Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

A maior parte da bacia do rio Paraíba do Sul é ocupada por pastagem e formações florestais, sendo que a soma de ambos compreende 76,59 % de sua totalidade. A classe “mosaico de usos”, a qual se refere às áreas onde ocorrem mistos de agricultura e pastagem, não havendo uma distinção clara entre essas, corresponde 16,01 % da bacia. Os demais usos ocupam os 7,4 % restante.

Em um dos cenários avaliados (o detalhamento dos cenários utilizados será descrita no item 2.4), foi considerado o uso do solo apenas nas áreas de atuação direta do projeto Conexão Mata Atlântica, a qual abrange municípios dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (Tabela 4).

Tabela 4. Municípios envolvidos na área de atuação direta do projeto Conexão Mata Atlântica

UF	Municípios
MG	Camanducaia; Sapucaí-Mirim; Caiana; Faria Lemos; Tombos; Além Paraíba; Alto Rio Doce; Antônio Carlos; Antônio Prado de Minas; Aracitaba; Araçuaia; Argirita; Astolfo Dutra; Barão de Monte Alto; Barbacena; Bicas; Caparaó; Carangola; Cataguases; Chácara; Coimbra; Coronel Pacheco; Descoberto; Desterro do Melo; Divinésia; Divino; Dona Euzébia; Dolores do Turvo; Ervália; Espera Feliz; Estrela Dalva; Eugenópolis; Ewbank da Câmara; Fervedouro; Goianá; Guarani; Guidoal; Guiricema; Itamarati de Minas; Juiz de Fora; Laranjal; Leopoldina; Luisburgo; Maripá de Minas; Mercês; Miradouro; Mirai; Muriaé; Oliveira Fortes; Orizânia; Paiva; Palma; Patrocínio do Muriaé; Paula Cândido; Pedra Bonita; Pedra Dourada; Piau; Pirapetinga; Piraúba; Recreio; Rio Novo; Rio Pomba; Rochedo de Minas; Rodeiro; Rosário da Limeira; Santa Bárbara do Tugúrio; Santa Margarida; Santana de Cataguases; Santo Antônio do Aventureiro; Santos Dumont; São Francisco do Glória; São Geraldo; São João do Manhuaçu; São João Nepomuceno; São Sebastião da Vargem Alegre; Senador Cortes; Silveirânia; Tabuleiro; Tocantins; Ubá; Vieiras; Visconde do Rio Branco; Volta Grande
RJ	Angra dos Reis; Resende; Rio Claro; Paraty; Cambuci; Italva; Itaperuna; Porciúncula; Varre-Sai; Bom Jesus do Itabapoana; São Fidélis; São José de Ubá; Barra do Piraí; Valença; Cantagalo Carmo; Laje do Muriaé; Miracema; Natividade; Santo Antônio de Pádua; Sapucaia
SP	Ibiúna; Iguape; Itanhaém; Tapiraí; Aparecida; Cunha; Guaratinguetá; Lagoinha; Lorena; Cachoeira Paulista; Silveiras; Pindamonhangaba; Redenção da Serra; São Luiz do Paraitinga; Taubaté; Roseira; Cruzeiro; Areias; Lavrinhas; Queluz; Caraguatatuba; Natividade da Serra; Paraibuna; Ubatuba; Igaratá; Joanópolis; Monteiro Lobato; São José dos Campos; Arapeí; Bananal; São José do Barreiro; Jambuí; Salesópolis; Santa Branca; Caçapava.

Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

Por meio do recorte do mapeamento do uso do solo da SOS Mata Atlântica (2020), foi verificada a distribuição das classes do uso do solo apenas para essa área de atuação direta do projeto (Tabela 5).

Tabela 5. Uso do solo na área de atuação direta do projeto Conexão Mata Atlântica

Uso do solo	Área (ha)	%
Pastagem	1084765,639	54,11
Formação Florestal	515454,589	25,71
Mosaico de Usos	298706,398	14,90
Silvicultura	38420,169	1,92
Rio, Lago e Oceano	20967,542	1,05
Área Urbanizada	18658,148	0,93
Café	16441,695	0,82
Afloramento Rochoso	6887,368	0,34
Outras Lavouras Temporárias	3363,258	0,17
Outras Áreas não Vegetadas	936,891	0,05
Mineração	159,406	0,01
Outras Lavouras Perenes	1,864	0,00
Formação Savânica	1,322	0,00
Citrus	1,185	0,00
Formação Campestre	1,023	0,00

Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

Observando as Tabela 3 e Tabela 5 nota-se que a região de atuação do projeto Conexão Mata Atlântica mantém as mesmas tendências de uso e ocupação da terra que a bacia do rio Paraíba do

Sul, com predominância de pastagem, seguida das formações florestais e mosaico de usos.

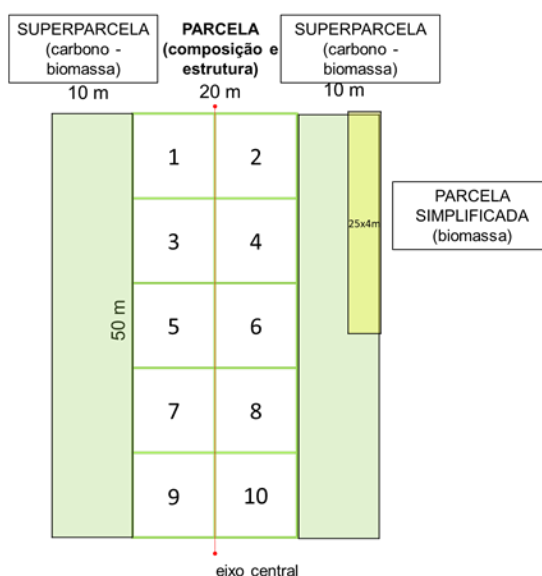
Considerando os diferentes usos de solo, foram determinados valores médios de estoque de carbono, em t/ha para cada um destes, em toda a bacia do rio Paraíba do Sul. Esses valores foram obtidos a partir de dados primários (levantamento realizados no âmbito do monitoramento ecossistêmico) ou secundários (referencial teórico), de acordo com o uso.

2.2 Obtenção de dados de estoque de carbono

2.2.1 Dados primários

No monitoramento de flora realizado no âmbito do projeto entre os anos de 2021 e 2022, foram instaladas superparcelas de carbono para quantificar essa variável nos diferentes usos de solo determinados. As superparcelas de carbono tinham dimensões 10 x 50 m e foram instaladas nos dois lados das parcelas de composição e estrutura (Figura 2).

Figura 2. Esquemática da amostragem de flora adotada



Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2021).

O critério de inclusão para os indivíduos a serem mensurados foi o DAP acima de 10 cm, sendo também esta a única variável medida. Além das superparcelas de carbono, também foram estabelecidas as miniparcelas de herbáceas (para determinação de biomassa) e os transectos de necromassa, os quais também foram utilizados para a estimativa de estoque de carbono.

Foram estabelecidas quatro miniparcelas nas dimensões 0,6 x 0,4 m, sendo considerados os indivíduos considerados como plantas não lenhosas, a exemplo de ervas e gramíneas dominantes. O material foi cortado e pesado e do mesmo retirado uma amostra para pesagem em laboratório.

Os transectos de necromassa se referem a um transecto de 50 m implantado na linha central da parcela, onde eram contabilizados os galhos e troncos caídos com diâmetro superior a 2,5 cm, categorizados de acordo com o grau de decomposição. A metodologia dos cálculos realizados será

explicada em mais detalhes posteriormente.

As categorias de uso de solo para a instalação das parcelas foram as seguintes: pastagem degradada; pastagem manejada; vegetação secundária em estágio pioneiro; floresta secundária em estágio inicial; floresta secundária em estágio médio ou avançado; regeneração natural assistida e sistema agroflorestal – SAF.

O cálculo do carbono estocado nos diferentes usos de solo foi realizado de acordo com a subunidade amostral previamente definida, sendo elas: Superparcela de carbono (biomassa); Transectos de necromassa e miniparcelas de herbáceas (para determinação de biomassa). As superparcelas de carbono se referem a duas parcelas de 10 x 50 m instaladas nos dois lados da parcela de composição e estrutura. Nessas, foi medida uma variável, sendo o DAP acima de 10 cm, de modo a englobar árvores, palmeiras e samambaias arborescentes. Para a estimativa do carbono estocado nesses indivíduos foi necessário calcular a biomassa dos mesmos, por meio da seguinte equação:

$$BT = -44,44802 + 0,57853 * DAP^2$$

Em que:

BT = biomassa total arbórea de um indivíduo, em kg;

DAP = diâmetro à altura do peito, em cm.

Posteriormente, foram somadas as biomassas totais de todos os indivíduos encontrados em uma superparcela de carbono, as quais foram extrapoladas para a unidade tonelada por hectare (t/ha), visando uma melhor interpretação dos resultados obtidos. A equação apresentada acima foi proposta por Silveira (2008) para ser utilizada em fragmentos de Floresta Ombrófila Densa em função apenas da variável DAP, a qual foi verificada pelo autor por dados observados e apresentou os seguintes parâmetros estatísticos de ajuste: R^2 ajustado de 0,89 e $Syx\%$ de 31,36.

Para estimar a necromassa foram levadas em consideração as informações coletadas em campo nos transectos de necromassa - transecto de 50 m implantado na linha central da parcela, sendo o diâmetro do tronco (acima de 2,5 cm) medido no ponto onde toca a linha e o grau de decomposição (GD), o qual foi dividido em três categorias de acordo com as características apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Grau de decomposição para classificação de madeira morta.

GRAU DE DECOMPOSIÇÃO	CARACTERÍSTICAS
GD1	Casca intacta, presença de ramos e textura de madeira intacta.
GD2	Decomposição inicial: resquícios de casca, sem ramos e madeira firme.
GD3	Decomposição avançada: sem casca, sem ramos e com madeira em estágio de decomposição médio a avançado, com aparência farelenta.

Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

Previamente à obtenção do valor da necromassa, foi necessário estimar o volume de madeira morta encontrada em campo, pela seguinte equação posposta por Van Wagner (1968):

$$V_{est} = \frac{\pi^2 * d^2}{8 * L}$$

Em que:

V_{est} = volume estimado, em m³/ha;

d = diâmetro do tronco medido, em m.

Posteriormente, a necromassa foi calculada em função do volume estimado e de suas densidades básicas, sendo esta adotada de acordo com o grau de decomposição estabelecido, assim como proposto por Veiga (2010), como é mostrado na Tabela 7.

Tabela 7. Densidade básica média da madeira morta para os diferentes graus de decomposição.

GRAU DE DECOMPOSIÇÃO	DENSIDADE (g/cm ³)
GD1	0,6858
GD2	0,5659
GD3	0,4252

Fonte: Veiga (2010).

A necromassa encontrada para cada um dos diferentes graus de decomposição foi então obtida por meio da seguinte equação:

$$Necr = V_{est} * Db$$

Em que:

$Necr$ = necromassa, em t/ha;

V_{est} = volume estimado, em m³/ha;

Db = densidade básica, em g/cm³.

Por fim, as necromassas dos diferentes graus de decomposição foram somadas para a obtenção do valor final dessa variável para um determinado uso de solo. O valor de carbono estocado pelas plantas herbáceas foi obtido nas miniparcelas de herbáceas instaladas em campo, sendo quatro destas estabelecidas em cada um dos diferentes usos do solo nas quatro áreas focais. Para a obtenção da biomassa desses indivíduos foi adotado um método dividido em duas fases, uma no campo e outra em laboratório.

Em campo, todo o material vegetativo acima do solo presente na miniparcela foi cortado e pesado, caracterizando a massa total úmida (Mt_{umido}). Deste, uma amostra foi retirada e pesada ainda em campo (Ma_{umido}). Em laboratório, a amostra foi secada até que fosse eliminada toda a umidade, a qual foi pesada novamente, resultando no peso seco da amostra (Ma_{seco}). Por fim, a biomassa das herbáceas encontradas nas miniparcelas foi calculada pela fórmula:

$$BS_{herbáceas} = (Ma_{seco} * Mt_{umido}) * (Ma_{umido} * 0,25) - 1$$

Em que:

$BS_{herbáceas}$ = biomassa do material vegetativo acima do solo presente na miniparcela, em g/m².

Após a obtenção da variável acima para cada uma das quatro unidades amostrais instaladas, foi obtida a média entre essas, a qual foi posteriormente extrapolada para a unidade t/ha para comparação com as demais variáveis analisadas. Uma vez obtidos os valores de biomassa para as

três subunidades amostrais adotadas, o carbono estocado foi calculado pela sua multiplicação da biomassa por 0,5, como indicado pelo IPCC.

$$\text{Estoque de C} = \text{biomassa} * 0,5$$

2.2.2 Dados secundários

Os dados secundários foram utilizados para as categorias de uso do solo: Formação Savânica; Mangue; Restinga Arborizada; Campo Alagado e Área Pantanosa; Formação Campestre; Outras Formações não Florestais; Soja; Cana; Outras Lavouras Temporárias; Café; Citrus; Silvicultura e Mosaico de Usos. Ressalta-se que as categorias contidas nas classes de Área Não Vegetada e Corpo D'água não foram consideradas para essa análise.

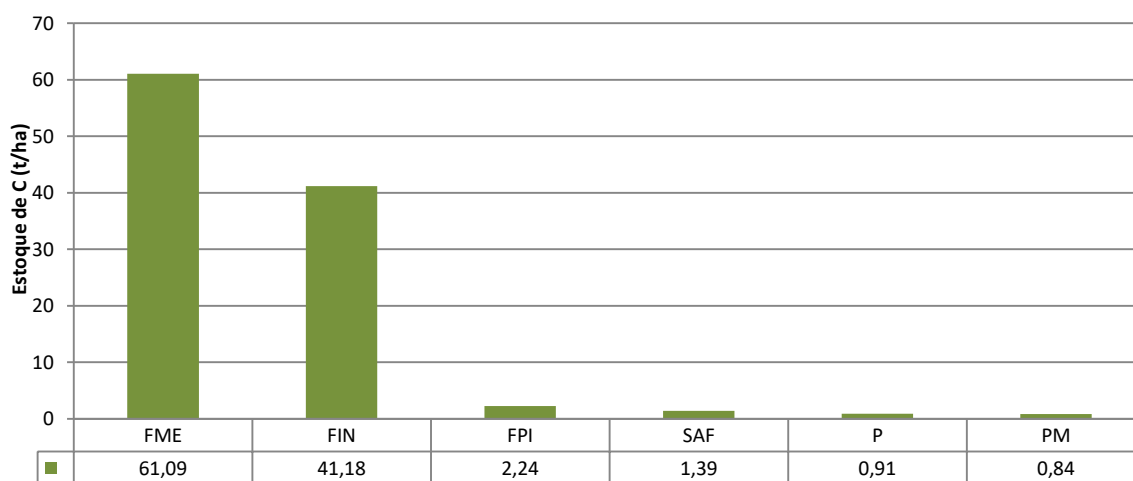
Para estas classes de uso do solo foram utilizadas referências encontradas em estudos publicados e também da nota metodológica do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), baseados no Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (MCTI, 2016). Os dados disponibilizados pelo SEEG contemplaram as classes: Formação Savânica; Campo Alagado e Área Pantanosa; Formação Campestre; Outras Formações não Florestais; Soja; Cana; Outras Lavouras Temporárias; Silvicultura e Mosaico de Usos.

2.2.3 Valores atribuídos

2.2.3.1 Dados primários

Para a avaliação dos cenários propostos trabalhados com as classes de uso pastagem e formações florestais foram utilizados os resultados encontrados nos dados primários nos seguintes usos de monitoramento: pastagens (média entre pastagem degradada e manejada), floresta secundária em estágio inicial, floresta secundária em estágio médio ou avançado, vegetação secundária em estágio pioneiro e sistema agroflorestal. Na Figura 3 são apresentados os estoques de carbono definidos para cada um dos usos citados.

Figura 3. Estoque de carbono nos diferentes usos a partir dos dados de monitoramento



Legenda: FME: floresta secundária em estágio médio ou avançado; FIN: floresta secundária em estágio inicial; FPI: vegetação secundária em estágio pioneiro; SAF: sistema agroflorestal; P: pastagem degradada; PM: pastagem manejada.

Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

2.2.3.2 Dados secundários

Para a classe Formação Savânica, segundo o SEEG, o estoque de carbono é de 20,30 t/ha. Já para as classes Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre e Outras Formações não Florestais, as quais estão dentro da categoria Formação Natural não Florestal, foi atribuído o estoque de carbono de 7,375 t/ha, pois segundo estimativa apresentada pelo SEEG (2021, adaptado de MCTI, 2015), a biomassa média para essas formações é de 14,75 t/ha. Aplicando o fator de conversão de biomassa em carbono, de 0,5, encontra-se o valor mencionado.

O SEEG também apresenta os valores para áreas de agricultura. No caso das classes Soja e Outras Lavouras Temporárias, é citado o valor de estoque de carbono de 5 t/ha. Para a classe de uso do solo pelo plantio de cana, a qual é uma cultura semi-perene, o valor atribuído pelo SEEG é de 21 t/ha.

Às áreas de silvicultura foi atribuído o valor de estoque de carbono de 21,22 t/ha, também de acordo com o SEEG, onde foram adotadas estimativas simplificadas para as culturas de eucalipto e pinus. Por fim, a classe Mosaico de Usos recebeu valor de estoque de carbono de 6,29 t/ha, segundo a mesma nota metodológica.

Para a classe de uso do solo referente ao Mangue, que ocupa apenas 0,01 % da área da bacia, foi considerado estoque de carbono de 116,28 t/ha, o maior entre os usos citados. Paião (2010) encontrou esse valor para áreas da Baixada Santista ao analisar a variação do estoque de carbono nos mangues.

Para as áreas com cultivo de café, que apesar de presentes na área da bacia do rio Paraíba do Sul correspondem a uma parcela não significativa da totalidade, foi adotado como valor de estoque de carbono 10,38 t/ha, encontrado por Coltri et al. (2011), em sistemas cafeeiros a pleno sol no sul de Minas Gerais.

Em relação à classe de uso de solo pelo cultivo de Citrus, são poucas as referências disponibilizadas na literatura para estoque de carbono. Contudo, foi utilizado o valor encontrado por Bwalya (2012), de 23,81 t/ha, a média encontrada durante a avaliação de quatro pomares.

Em relação ao uso do solo definido como Restinga Arborizada, não foram encontradas referências aplicáveis na literatura para embasar o presente estudo. Portanto, para não haver “vazios” no processamento dos dados, foi optado por utilizar como referência os valores médios de acordo com a base disponibilizada de estoque de carbono acima do solo desenvolvida por Imaflora, GeoLab/Esalq/USP e KTH Royal Institute of Technology). Para tal, foi utilizado um *software* de geoprocessamento para recortar a porção referente a essa classe de uso da base do Imaflora de acordo com o uso de solo proposto pela SOS Mata Atlântica, permitindo assim o cálculo da média para as áreas de Restinga Arborizada, que foi de 23,37 t/ha.

Na Tabela 8 é apresentado um resumo dos valores de estoque de carbono citados acima que foram adotados para cada uma das classes a partir de dados secundários.

Tabela 8. Estoque de carbono para as classes de uso de solo a partir de dados secundários

Uso do solo	Estoque de C (t/ha)	Fonte
Formação Savânica	20,30	SEEG, 2021
Mangue	116,28	Paião, 2020
Restinga Arborizada	23,37	Adaptado de Imaflora, GeoLab/Esalq/USP e KTH Institute of Technology, 2017
Campo Alagado e Área Pantanosa	7,375	SEEG, 2021
Formação Campestre	7,375	SEEG, 2021
Outras Formações não Florestais	7,375	SEEG, 2021
Soja	5	SEEG, 2021
Cana	21	SEEG, 2021
Outras Lavouras Temporárias	5	SEEG, 2021
Café	10,38	Coltri et al., 2011
Citrus	23,81	Bwalya, 2012
Silvicultura	51,22	SEEG, 2021
Mosaico de Usos	6,29	SEEG, 2021

Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

Para os cenários que avaliaram a mudança para SAFs, além do valor apresentado na Figura 3 também foi utilizado um valor encontrado na literatura de estoque de carbono em sistemas agroflorestais, de 7,35 t/ha. Esse valor foi encontrado por Bohrer et al. (2006), sendo a soma referente à biomassa da pastagem e dos indivíduos arbóreos presentes nesse sistema.

No estudo, os autores afirmam que foram avaliadas 80 árvores em 26 espécies, das quais seis são usadas para alimentação humana e já são comercializadas (abacate, abiu, amora, bananeira, goiaba e graviola) e outras ainda em fase produtiva (açai, caju, jaca, jamelão, manga e pupunha), duas que servem de alimento para animais silvestres nativos (imbaúba e amendoeira), quatro que possuem função de sombreamento e poda para incorporação de matéria orgânica no solo (acácia, biriba, gliricida e leucina) e oito espécies que possuem função de fornecimento de produtos florestais diversos (angico, cedrinho, ingá, mogno, paraio, sombreiro e teca).

Foi escolhido este estudo como referência justamente por se tratar de um sistema diverso que abrange uma alta quantidade de espécies e proporciona ganhos ambientais em vários aspectos. Os dados obtidos em campo a partir das campanhas de monitoramento foram de uma área de SAF ainda em período inicial, no qual não ocorreu a presença de indivíduos arbustivos/arbóreos, sendo a biomassa calculada principalmente em função da pastagem da área, a qual já apresentou um valor acima das áreas de pastagens (P e PM), uma vez que estava isolada do pisoteio e alimentação de animais.

2.3 Simulação das emissões evitadas de CO₂.

A simulação das emissões evitadas de CO₂ foi feita em função do carbono estocado estimado nos diferentes cenários propostos. A conversão de carbono em CO₂ se dá pela multiplicação por 3,67, isto devido às massas molares de cada um, de 12 g para o carbono e 16 g para o oxigênio, sendo assim, a molécula de CO₂ apresenta massa molar de 44 g.

$$\frac{CO_2}{C} = \frac{44 \text{ g}}{12 \text{ g}} = 3,67$$

2.4 Cenários avaliados

Além de ser avaliado o cenário atual verificado a partir do mapeamento de uso e cobertura da terra do SOS Mata Atlântica integrado com os dados de estoque de carbono de dados primários e secundários, foram estabelecidos cenários hipotéticos a respeito do carbono estocado e emissões evitadas na área da bacia do rio Paraíba do Sul e de atuação direta do projeto. Foram adotados quatro grandes temas de cenarização, dois de extremos teóricos de caráter otimista ou pessimista, um de análise em cronosequência e um considerando adoção de práticas conservacionistas.

Os cenários foram gerados modificando as áreas de uso do solo apenas das classes de pastagens e formação florestal, pelos motivos de estas ocuparem a maior parte da bacia, possuírem dados primários e representarem os extremos no que se refere ao estoque de carbono na biomassa. De tal modo, a dinâmica entre esses dois usos do solo resulta nos processos de estoque de carbono e redução ou aumento de emissões de CO₂.

Outra observação que deve ser feita diz respeito pela escolha de não ter sido considerado um cenário de mudança de pastagem degradada para pastagem manejada. Isso se deve ao fato de não terem sido observadas diferenças significativas a partir dos dados primários no que se refere ao estoque de carbono da biomassa.

2.4.1 Cenário 1: Teórico otimista

Para este cenário foi considerada a conversão total da área de pastagem da bacia do rio Paraíba do Sul em florestas. Portanto, foi atribuído a toda área de pastagem, que atualmente é de 27.442,79 km² segundo os dados da SOS Mata Atlântica (2020), o valor de estoque de carbono médio encontrado para as florestas no âmbito do monitoramento ecossistêmico do projeto Conexão Mata Atlântica, de 51,13 t/ha.

2.4.2 Cenário 2: Teórico pessimista

Para este cenário foi realizado o oposto do citado acima, sendo considerado que a toda a área de floresta da bacia do rio Paraíba do Sul seria convertida em pastagem, sendo atribuído o valor de 0,88 t/ha de estoque de carbono (obtido a partir dos dados primários durante o monitoramento ecossistêmico) para a área atual classificada como Formação Florestal pela SOS Mata Atlântica (2020), de 15.623,13 km².

2.4.3 Cenário 3: Análise em cronosequência 1 (mudança em 100% no uso de pastagem em floresta na bacia do rio Paraíba do Sul)

Para o cenário de cronosequência, no qual foram estabelecidos três estágios de sucessão florestal, foi definida para o estágio classificado como avançado a média da área focal que apresentou o maior valor de estoque de carbono, de 95,45 t/ha, em floresta com características de estágio mais avançado no município de Cunha – SP. Isso foi considerado para poder abranger o extremo nos dados primários obtidos, uma vez que as áreas classificadas como “FME” apresentavam também características de estágios médios de sucessão.

A análise em cronosequência no cenário 3 considerou a mudança de toda a área de pastagem em

floresta para toda área da bacia do rio Paraíba do Sul, passando pelos diferentes estágios sucessionais, da seguinte maneira: pastagem → vegetação secundária em estágio pioneiro → floresta secundária em estágio inicial → floresta secundária em estágio médio → floresta secundária em estágio avançado. Também foi considerado nesse estágio que a área de floresta atual se manteve como floresta, passando de estágio médio para avançado. O tempo considerado para as transições de estágio foram estabelecidos com base no que foi proposto por Oliver & Larson (1990), *apud* Chazdon, 2012.

A Tabela 9 demonstra como foi considerada a mudança no uso do solo ao longo dos anos para a bacia do rio Paraíba do Sul, assim como o valor de estoque de carbono (t/ha) atribuído para cada um desses.

Tabela 9. Evolução no uso do solo ao longo do tempo simulada no Cenário 3

Cenário Atual		Estágios iniciais de regeneração		0-15 anos de desenvolvimento florestal		15-50 anos de desenvolvimento florestal		30-200 anos de desenvolvimento florestal	
Uso	Estoque de C (t/ha)	Uso	Estoque de C (t/ha)	Uso	Estoque de C (t/ha)	Uso	Estoque de C (t/ha)	Uso	Estoque de C (t/ha)
P	0,88	FPI	2,24	FI	41,18	FM	51,13	FA	95,45
FM	51,13	FM	51,13	FM	51,13	FA	95,45	FA	95,45

Legenda: P: pastagem; FPI: vegetação secundária em estágio pioneiro; FI: floresta secundária em estágio inicial; FM: floresta secundária em estágio médio; FA: floresta secundária em estágio avançado.

Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

Da Figura 4 a Figura 7 são apresentados exemplos das fases de sucessão apresentadas acima referente às áreas do monitoramento ecossistêmico.

Figura 4. Área de pastagem



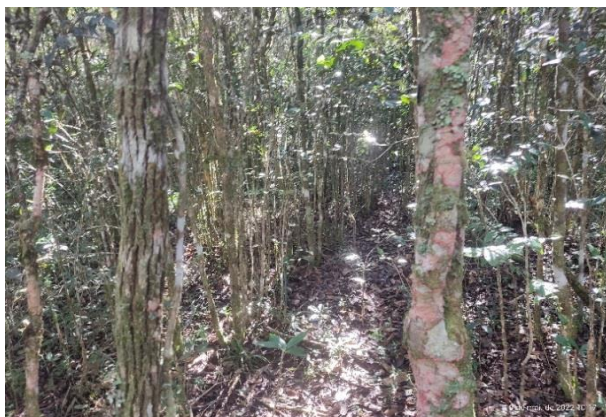
Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2021)

Figura 5. Área de vegetação secundária em estágio pioneiro



Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2021)

Figura 6. Área de floresta secundária em estágio inicial



Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2021)

Figura 7. Área de floresta secundária em estágio médio/avançado



Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2021)

2.4.4 Cenário 4: Análise em cronosequência 2 (mudança em 50 % no uso de pastagem para floresta e 50 % para SAF na área de atuação do projeto Conexão Mata Atlântica).

O cenário 4 possui a mesma premissa de evolução fitossociológica em cronosequência, porém este voltado para análise para a área de atuação do projeto Conexão Mata Atlântica. Neste cenário 50% da área de pastagem contida dentro da área de atuação do projeto Conexão Mata Atlântica seguiu o mesmo avanço de estágio sucessionais até se caracterizar como floresta secundária em estágio avançado e a outra metade adotou práticas conservacionista, sendo classificada como SAF.

É importante ressaltar que para a mudança no SAF foram considerados dois valores, os obtidos a partir de dados primários e secundários. Isso porque os dados primários caracterizam os primeiros meses de implantação de um SAF, enquanto que os dados secundários representam um SAF já estabelecido.

A Tabela 10 mostra a evolução no uso do solo simulada no cenário 4 e os valores de estoque de carbono atribuídos.

Tabela 10. Evolução no uso do solo ao longo do tempo simulada no Cenário 4

Cenário Atual		Estágios iniciais de regeneração		0-15 anos de desenvolvimento florestal		15-50 anos de desenvolvimento florestal		30-200 anos de desenvolvimento florestal	
Uso	Estoque de C (t/ha)	Uso	Estoque de C (t/ha)	Uso	Estoque de C (t/ha)	Uso	Estoque de C (t/ha)	Uso	Estoque de C (t/ha)
P (50%)	0,88	FPI	2,24	FI	41,18	FM	51,13	FA	95,45
P(50%)	0,88	SAF1	1,39	SAF2	7,35	SAF2	7,35	SAF2	7,35
FM	51,13	FM	51,13	FM	51,13	FA	95,45	FA	95,45

Legenda: P: pastagem; FPI: vegetação secundária em estágio pioneiro; FI: floresta secundária em estágio inicial; FM: floresta secundária em estágio médio; FA: floresta secundária em estágio avançado; SAF1: sistema agroflorestal (dados primários); SAF2: sistema agroflorestal (dados secundários).

Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

2.4.5 Cenário 5: Adoção de práticas conservacionistas 1 (conversão de pastagem em SAF na bacia do rio Paraíba do Sul)

O cenário 5 foi elaborado considerando a adoção de práticas mais sustentáveis do uso do solo, sendo a implantação de sistema agroflorestal na totalidade da área atual ocupada pela pastagem na bacia do rio Paraíba do Sul. Neste caso foram consideradas duas etapas na evolução do sistema agroflorestal, sendo adotado na primeira etapa o estoque de carbono encontrado a partir dos dados primários (1,39 t/ha) e na segunda etapa a partir do dado de referência (7,35 t/ha).

2.4.6 Cenário 6: Adoção de práticas conservacionistas 2 (conversão gradual de pastagem em SAF na área de atuação do projeto Conexão Mata Atlântica)

O cenário 6 teve como objetivo apresentar uma evolução gradual da área atual de pastagem para área de SAF considerando apenas a área de atuação direta do projeto Conexão Mata Atlântica, que abrange os municípios apresentados na Tabela 4. Esse cenário foi realizado considerando ações que o projeto pode ter na área de atuação direta onde gradativamente ocorra a transformação.

Não foi considerada mudança de estágios para floresta nesse cenário, a qual manteve o valor médio de 51,13 t/ha, visto que o objetivo foi avaliar ações mais ligadas ao projeto. Os demais usos encontrados não tiveram suas áreas modificadas.

A Tabela 11 apresenta a simulação realizada na mudança do uso solo para a área considerando a modificação da área da pastagem em SAF, em porcentagem. Para este caso, foi considerado apenas o valor de referência de 7,35 t/ha como estoque de carbono para SAF, considerando um sistema estabelecido, por não ter sido realizada uma avaliação necessariamente de uma evolução temporal, mas sim de proporções de área.

Tabela 11. Evolução no uso do solo ao longo do tempo simulada no Cenário 6

Cenário Atual		1ª mudança	2ª mudança	3ª mudança	4ª mudança
Uso do solo	%	%	%	%	%
Pastagem	100	90	80	50	90
SAF	-	10	20	50	10

Legenda: SAF: sistema agroflorestal (dados secundários).

Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cenário atual

3.1.1 Bacia do rio Paraíba do Sul

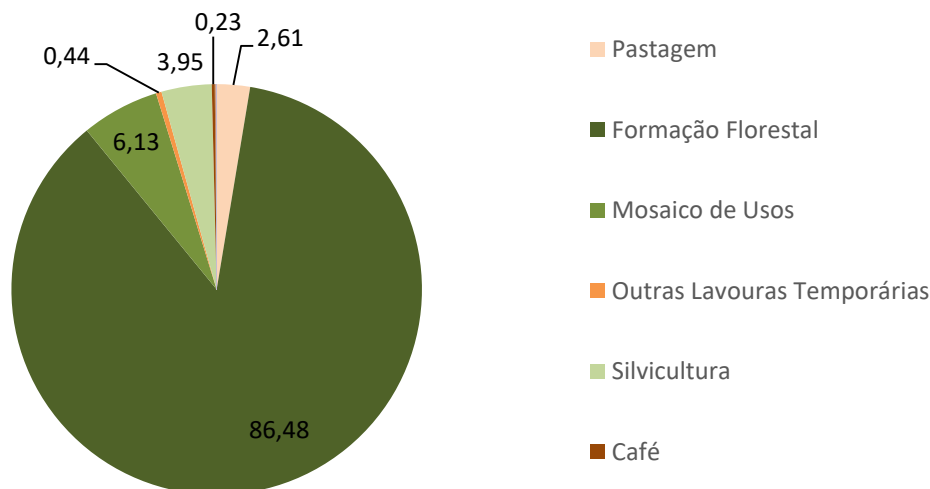
A Tabela 12 apresenta o estoque de carbono estimado no cenário atual da bacia do rio Paraíba do Sul de acordo com os usos de solo mapeados, sendo apresentado na Figura 8, em gráfico do tipo “pizza”, aqueles que apresentaram os maiores valores percentuais.

Tabela 12. Estoque de carbono na bacia do rio Paraíba do Sul de acordo com o uso do solo – Cenário atual

Uso do solo	Estoque de C (Gg)
Pastagem	2.414,97
Formação Florestal	79.881,08
Mosaico de Usos	5.661,68
Área Urbanizada	-
Outras Lavouras Temporárias	407,96
Silvicultura	3.651,60
Rio, Lago e Oceano	-
Afloramento Rochoso	-
Café	212,13
Campo Alagado e Área Pantanosa	49,36
Outras Áreas não Vegetadas	-
Outras Formações não Florestais	3,55
Aquicultura	-
Restinga arborizada	28,47
Formação Campestre	7,16
Praia, Duna e Areal	-
Mineração	-
Cana	9,17
Mangue	42,86
Outras Lavouras Perenes	0,59
Formação Savânica	0,76
Soja	0,12
Citrus	0,05
Soma	92.371,48

Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

Figura 8. Participação dos usos do solo em estoque de carbono (%) na bacia do rio Paraíba do Sul



Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

Nota-se que no cenário atual, mesmo com as áreas de pastagem representando quase metade da ocupação do solo na bacia e as florestas cerca de 28%, quando é analisado o carbono estocado em cada um desses usos, percebe-se uma diferença significativa. É observado o quão pouco representativo é o carbono estocado na biomassa das gramíneas das pastagens, uma vez que até mesmo as áreas de silvicultura, que ocupam pouco mais de 1% da bacia, possuem valores maiores.

Os resultados encontrados no cenário atual serviram como base de referência para comparações a respeito do estoque de carbono e conseqüentemente a emissão ou remoção de CO₂ nos cenários propostos que serão abordados nos tópicos seguintes.

3.1.1 Área de atuação do projeto Conexão Mata Atlântica

A Tabela 13 apresenta os valores de estoque de carbono encontrados para cada uso do solo na área de atuação do projeto Conexão Mata Atlântica, a qual se refere aos municípios apresentados na Tabela 4. A Figura 9 mostra a participação de cada uso do solo em porcentagem em relação ao carbono total estocado nessa área.

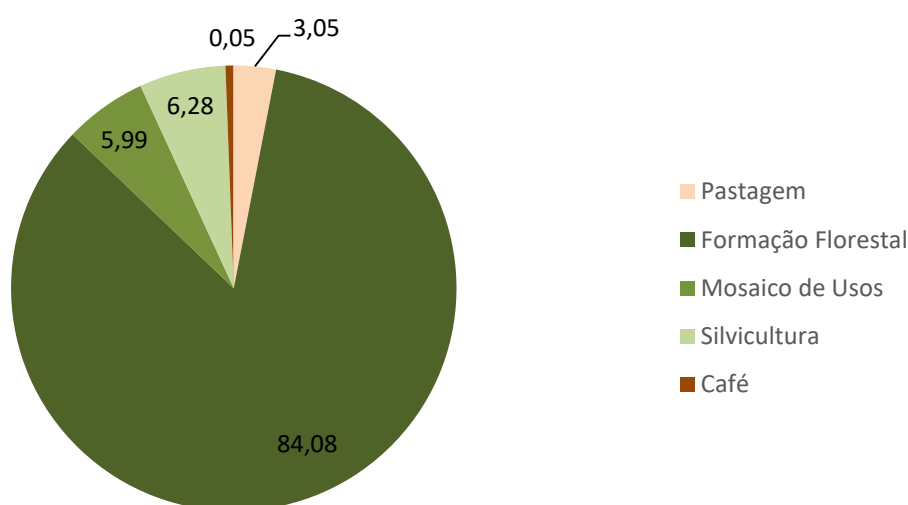
Tabela 13. Estoque de carbono na área de atuação do projeto Conexão Mata Atlântica de acordo com o uso do solo – Cenário atual

Uso do solo	Estoque de C (Gg)
Pastagem	954,59
Formação Florestal	26.355,19
Mosaico de Usos	1.878,86
Silvicultura	1.967,88
Rio, Lago e Oceano	-
Área Urbanizada	-
Café	170,67
Afloramento Rochoso	-
Outras Lavouras Temporárias	16,82

Uso do solo	Estoque de C (Gg)
Outras Áreas não Vegetadas	-
Mineração	-
Outras Lavouras Perenes	0,01
Formação Savânica	0,03
Citrus	0,03
Formação Campestre	0,01
Soma	31.344,08

Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

Figura 9. Participação dos usos do solo em estoque de carbono (%) na área de atuação do projeto Conexão Mata Atlântica.



Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

Assim como observado na área da bacia do rio Paraíba do Sul, as florestas são responsáveis pela maior parte do carbono estocado. A silvicultura apresentou um percentual ainda maior, pouco mais que o dobro do apresentado pelas áreas de pastagem. Para questões de comparação, a pastagem ocupa cerca de 54% da área de atuação, enquanto que as áreas de silvicultura representa aproximadamente 2% da mesma.

3.2 Cenário 1: Teórico otimista

Considerando a transformação de todas as áreas que atualmente se encontram ocupadas pelas pastagens em áreas de floresta em toda bacia do rio Paraíba do Sul, foi verificado um estoque de carbono de 230.271,51 Gg. Neste cenário, para os 27.442,79 km² que correspondem à pastagem na bacia do rio Paraíba do Sul foram atribuídos os valores de estoque de carbono encontrado para as florestas.

Em relação ao cenário atual, isso representa uma variação positiva de 137.900,03 Gg. Usando o fator de conversão apresentado para a estimativa de sequestro de CO₂, encontra-se como valor final de remoção de sequestro de dióxido de carbono da atmosfera de 505.633,46 Gg.

3.3 Cenário 2: Teórico pessimista

Considerando a transformação de toda a área atual de floresta em toda bacia do rio Paraíba do Sul em pastagem, foi encontrado um estoque de carbono para a bacia de 13.865,23 Gg. O valor definido para estoque de carbono em pastagens foi aplicado à área atual de 15.623,13 km² de floresta.

Em relação ao cenário atual, isso representa uma variação negativa de 78.506,24 Gg no estoque de carbono da área. Nesse cenário, as emissões resultantes da mudança do uso do solo, aplicando o fator de conversão para dióxido de carbono, seriam de 287.856,22 Gg de CO₂.

3.4 Cenário 3: Análise em cronosequência 1 (mudança em 100% no uso de pastagem em floresta na bacia do rio Paraíba do Sul)

A Tabela 14 mostra como se deu a variação no estoque de carbono e consequentemente o sequestro de CO₂ na área da bacia ao longo da evolução do tempo considerando os diferentes estágios de restauração florestal.

Tabela 14. Projeções de estoque de carbono e remoção de CO₂ em análise cronosequencial na área da bacia do rio Paraíba do Sul – Cenário 3

Cenário	Varição no estoque de C* (Gg)	Sequestro de CO ₂ (Gg)
Atual	-	-
EI	3.726,45	13.663,67
0-15**	110.587,47	405.487,39
15-50**	207.144,87	759.531,20
30-200**	328.776,80	1.205.514,92

Legenda: EI: estágios iniciais de regeneração.

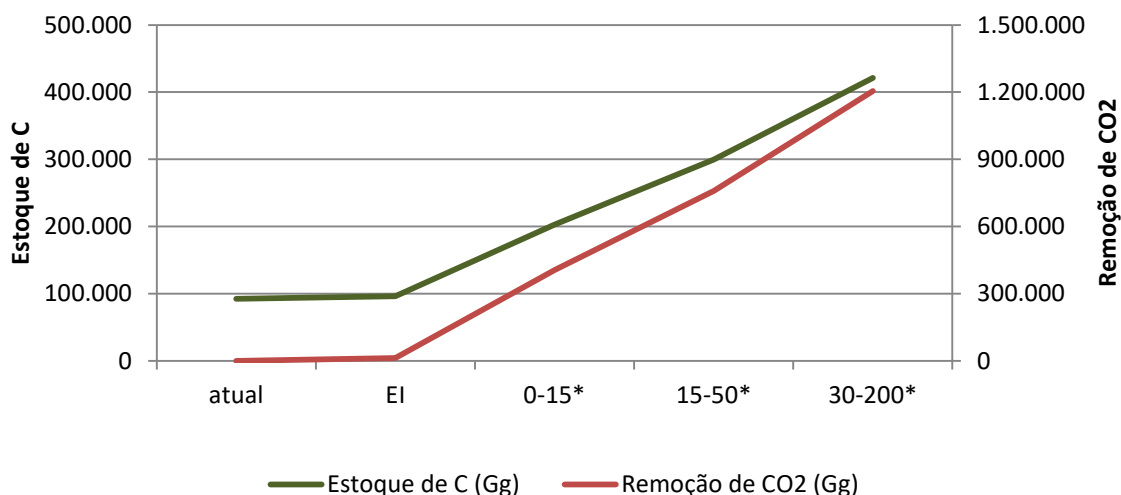
*em relação ao cenário atual, no qual o estoque de carbono é de 92371,479 Gg.

** anos de desenvolvimento florestal.

Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

A conversão da área de pastagem até floresta secundária em estágio avançado se mostrou como uma ferramenta de captura de CO₂ na área da bacia. Ao longo da evolução temporal, percebe-se que a transição atual para estágios iniciais de regeneração foi a qual resultou no menor estoque de carbono em relação às demais fases. Isso também é evidenciado na análise do gráfico apresentado na Figura 10.

Figura 10. Estoque de carbono e sequestro de CO₂ na bacia do rio Paraíba do Sul analisado em cronossucessão – Cenário 3



Legenda: EI: estágios iniciais de regeneração.

* anos de desenvolvimento florestal.

Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

3.5 Cenário 4: Análise em cronossucessão 2 (mudança em 50% no uso de pastagem para floresta e 50% para SAF na área de atuação do Projeto Conexão Mata Atlântica)

A Tabela 15 mostra a análise em cronossucessão observando estritamente a área de atuação do projeto, na qual considerando o atingimento do estágio mais avançado por metade da área de pastagem e promovendo a mudança da outra metade para sistemas agroflorestais, o valor final resultou em um sequestro de CO₂ de 270.097,30 Gg. Ressalta-se que no cenário EI foram utilizados os dados primários para o uso de SAF, sendo nos demais utilizado o valor de referência secundário para este uso.

Tabela 15. Projeções de estoque de carbono e remoção de CO₂ em análise cronossucessional na área da bacia de atuação do projeto – Cenário 4

Cenário	Varição no estoque de C* (Gg)	Sequestro de CO ₂ (Gg)
Atual	-	-
EI	1.012,32	3.711,85
0-15**	25.365,86	93.008,17
15-50**	53.609,93	196.569,73
30-200**	77.649,41	284.714,52

Legenda: EI: estágios iniciais de regeneração.

*em relação ao cenário atual, no qual o estoque de carbono é de 31.344,084 Gg.

** anos de desenvolvimento florestal.

Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

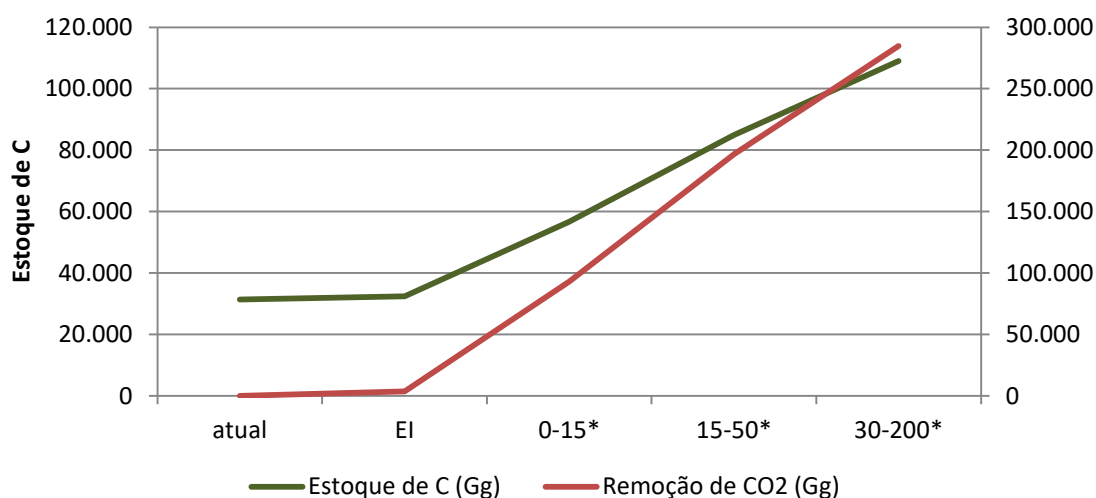
Apesar dos altos valores de estoque de carbono e sequestro de CO₂ apresentados, é importante mencionar que a evolução pastagem → vegetação secundária em estágio pioneiro → floresta secundária em estágio inicial → floresta secundária em estágio médio → floresta secundária em estágio avançado incrementou o carbono estocado para: 186.328,731 Gg, ou 65,45%.

No item 2.4.4 foi descrito que a área que atualmente é ocupada por floresta foi mantida, passando a

ter valores de estoque de carbono enquanto floresta secundária em estágio avançado. Essa análise indicou que a floresta permanecendo floresta, por meio da evolução do estágio médio para o estágio avançado contribuiu com 29,42% do carbono estocado, ou seja, 83.768,57 Gg. O estabelecimento de um sistema agroflorestal em 50% da área atual de pastagem teve a menor participação no carbono estocado durante o período simulado, com 14.617,217 Gg, 5,13 % do total.

A Figura 11 mostra a evolução simulada na análise em cronosequência para o estoque de carbono na área de atuação do projeto, assim como as remoções de CO₂ na atmosfera estimada durante o período, de acordo com os critérios estabelecidos para este cenário.

Figura 11. Estoque de carbono e sequestro de CO₂ na área de atuação do projeto analisado em cronosequência – Cenário 4



Legenda: EI: estágios iniciais de regeneração.

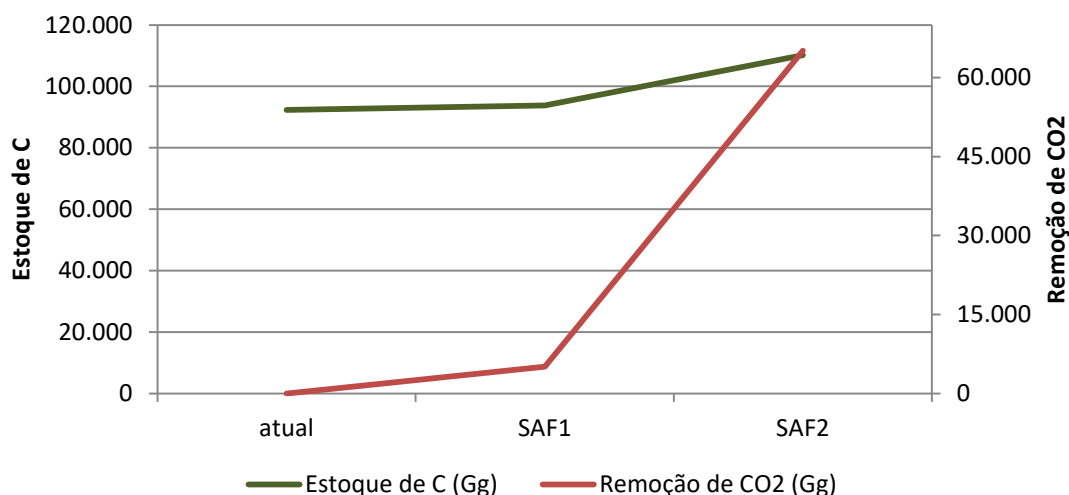
* anos de desenvolvimento florestal.

Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

3.6 Cenário 5: Adoção de práticas conservacionistas 1 (conversão de pastagem em SAF na bacia do rio Paraíba do Sul)

A conversão da área total de pastagens em SAF na bacia do rio Paraíba do Sul, considerando primeiramente os dados de referência obtidos no monitoramento ecossistêmico e depois a partir de dados secundários, resultou em uma variação do estoque de carbono em 17.755,487 Gg. Ressalta-se que não foi simulada variação no estoque de carbono nas áreas de floresta atuais neste cenário, sendo avaliada somente a mudança para SAF.

Figura 12. Estoque de carbono e sequestro de CO₂ na bacia do rio Paraíba do Sul considerando adoção de práticas conservacionistas – Cenário 5



Legenda: SAF1: sistema agroflorestal (dados primários); SAF2: sistema agroflorestal (dados secundários).
Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

A remoção de CO₂ da atmosfera neste cenário foi de 65.103,453 Gg, indicando o potencial da adoção de práticas conservacionistas como ferramentas para mitigação da quantidade de um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa.

3.7 Cenário 6: Adoção de práticas conservacionistas 1 (conversão gradual de pastagem em SAF na área de atuação do projeto Conexão Mata Atlântica)

Os resultados obtidos a partir das simulações realizadas considerando a relação SAF/pastagem no cenário 6 são apresentados na Tabela 16 e na Figura 13. Como já mencionado, neste cenário a modificação no uso do solo ocorreu apenas entre pastagem/SAF, não sendo modificadas as áreas dos demais usos. Os dados de referência para SAF aplicados neste caso foram os secundários, considerando se tratar de SAFs já estabelecidos.

Tabela 16. Projeções de estoque de carbono e remoções de CO₂ considerando a relação SAF/pastagem (%)

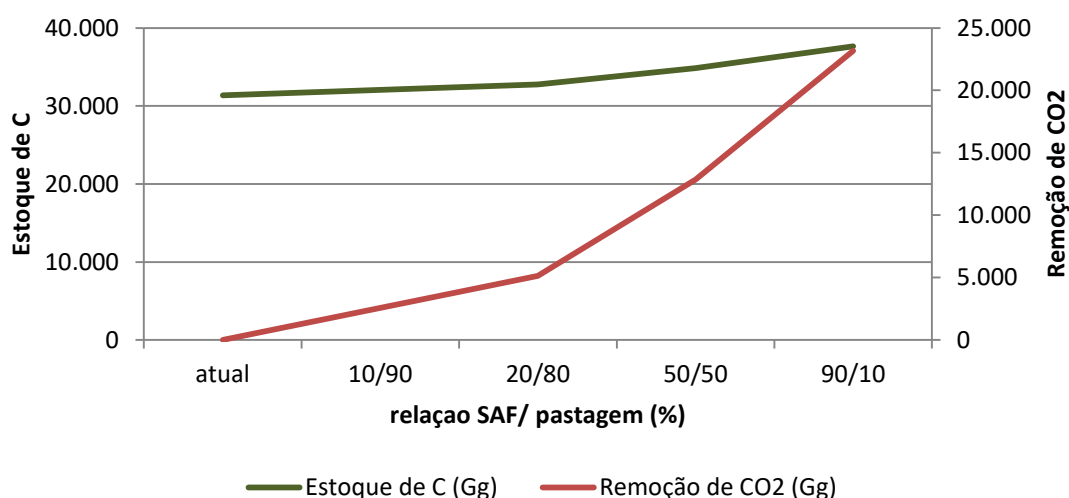
Cenário	Varição no estoque de C* (Gg)	Sequestro de CO ₂ (Gg)
Atual	-	-
10/90**	701,84	2.573,43
20/80**	1.403,69	5.146,85
50/50**	3.509,22	12.867,13
90/10**	6.316,59	23.160,83

* em relação ao cenário atual, no qual o estoque de carbono é de 31344,084 Gg

** relação SAF/pastagem (%).

Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

Figura 13. Estoque de carbono na área de atuação do projeto considerando adoção de práticas conservacionistas – Cenário 6



Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

As relações SAF/pastagem mostram que quanto mais área da pastagem atual for destinada para implantação e sistemas agroflorestais, maior será o carbono estocado.

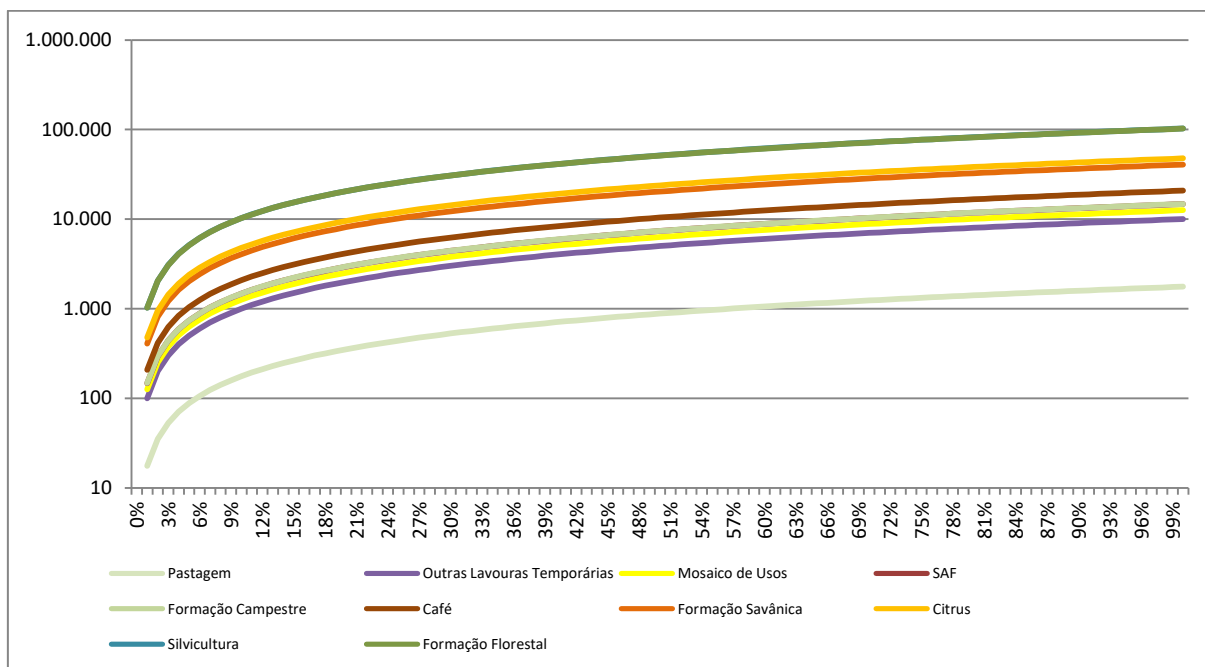
As possibilidades de conversão de uso citadas podem servir como base de referência para o estabelecimento de metas para a área de atuação do projeto Conexão Mata Atlântica.

3.8 Síntese dos resultados

Foi avaliado como cada uso do solo apresenta valores diferentes (em Gg) em estoque de carbono para a área do projeto Conexão Mata Atlântica, de acordo com a porcentagem de ocupação na mesma, sendo gerado um gráfico para comparar os diferentes usos.

As áreas de formações florestais apresentam o maior valor acumulado ao longo do tempo, sendo que as áreas de pastagens apresentam os menores valores para estoque de carbono. O gráfico gerado pode ser utilizado no âmbito do projeto Conexão Mata Atlântica para interpretação do estoque de carbono na área de atuação considerando as porcentagens de ocupação de cada uso do solo.

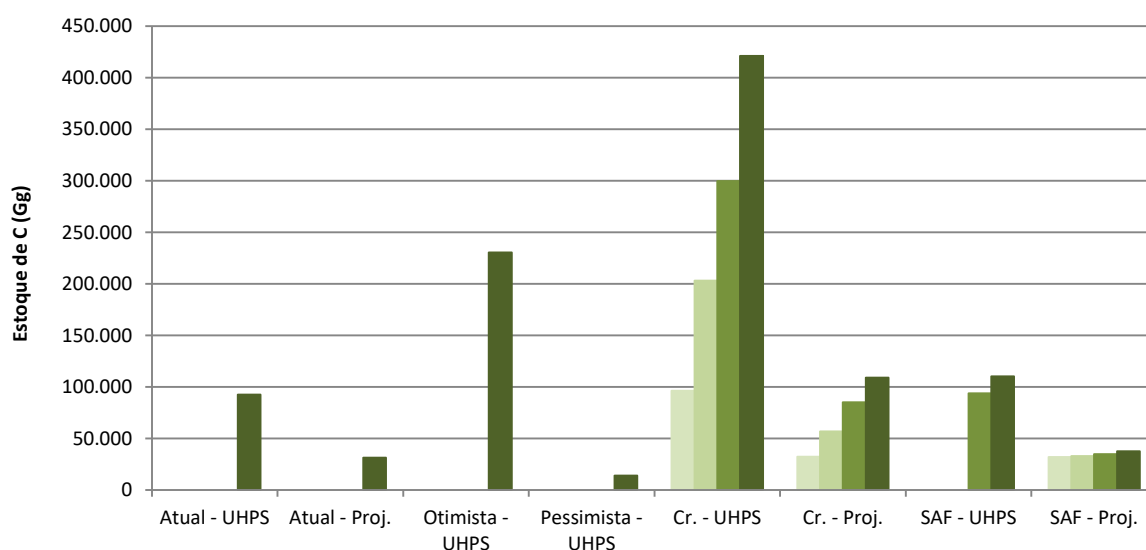
Figura 14. Evolução no estoque de carbono de acordo com área ocupada na área de atuação do projeto



Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

A partir dos resultados encontrados apresentados em cada um dos cenários estabelecidos, também foram feitas comparações em como cada um destes resulta em valores finais de estoque de carbono considerando tanto a área da bacia do rio Paraíba do Sul (UHPS) e a área de atuação do Projeto Conexão Mata Atlântica (Figura 15). Os cenários de cronossequência e adoção de medidas conservacionistas apresentam a evolução ao longo do tempo ou das proporções pastagem x floresta, sendo esta visualizada pelas diferentes tonalidades no gráfico.

Figura 15. Comparação dos cenários estabelecidos



Fonte: STCP Engenharia de Projetos LTDA (2022).

Percebem-se pela análise do gráfico que os cenários de cronossequência apresentaram os maiores valores finais para estoque de carbono tanto na área da bacia quanto na área de atuação do projeto.

Isso ocorreu por ser considerada a maior parte do uso em floresta, a qual atingiria estágios mais avançados de sucessão. Esse resultado mostra que podem ser desenvolvidos incentivos por meio de pagamento por serviços ambientais, por exemplo, visando tanto a restauração de áreas degradadas para florestas quanto a permanência de fragmentos florestais que ainda não estejam estabelecidos, uma vez que o estoque de carbono nesses casos é mais significativo em comparação à implantação de sistemas agroflorestais.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização do presente estudo permitiu definir diversos cenários sobre como a alteração do uso do solo na bacia do rio Paraíba do Sul e na área de atuação direta do projeto Conexão Mata Atlântica impactam no estoque de carbono na vegetação e remoção de CO₂ da atmosfera.

Os resultados obtidos mostram que áreas florestais que estão em processo de recuperação, onde ocorre o avanço de estágios sucessionais apresentam as maiores remoções de CO₂, o que demonstra a importância da recuperação de áreas florestais e das florestas secundárias que se encontram em desenvolvimento.

A adoção de práticas conservacionistas como a implantação de sistemas agroflorestais também se mostrou como uma ferramenta eficiente na remoção de CO₂ da atmosfera por meio do estoque de carbono na biomassa, ainda que em um percentual menor quando comparada com o caso citado acima.

Os resultados encontrados podem ser comparados com aqueles apresentados na Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, a fim de ser analisado o quanto as mudanças propostas nos cenários impactam em um cenário nacional acerca das emissões e remoções de CO₂.

5 REFERÊNCIAS

- BWALYA, J. M. **Estimation of Net Carbon Sequestration Potential of Citrus under Different Management Systems Using the Life Cycle Approach.** University of Zambia, 2012.
- CHAZDON, R. **Tropical forest regeneration.** Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi – Ciências Naturais. Belém – PA, 2012.
- COLTRI, P.; LAZARIM, C.; DIAS, R.; ZULLO, J.; PINTO, H. **Estoque de carbono em sistemas cafeeiros a pleno sol e cultivado com macadâmia no sul de Minas Gerais, Brasil.** Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Viçosa – MG, 2011.
- ELIZEU, K.; VICTAL, J. **As cidades mortas do Vale do Paraíba.** Anais do XVI encontro de Iniciação Científica da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2011.
- IMAFLOA; ESALQ; KTH ROYAL INSTITUTE TECHNOLOGY. **Atlas da Agropecuária brasileira: Carbono.** 2017.
- MCTI, MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC.** 2021.
- MEIRELLES, G. **Aumento da complexidade de florestas estacionais semidecíduais da Mata Atlântica ao longo de cronossequência.** Universidade Federal de Lavras. Lavras – MG, 2015.
- IPCC. **Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing.** 2007.
- PAIÃO, B. P. **Variação do estoque de carbono nos mangues da baixada santista e as implicações econômicas.** Universidade Federal de São Paulo. Santos – SP, 2020.
- SEEG, Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa. **Nota Metodológica: Setor Mudança de Uso da Terra e Florestas.** 2021.
- SILVEIRA, P. 2008. **Métodos indiretos de estimativa do conteúdo de biomassa e do estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila densa.** Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR, 2008.
- SOS MATA ATLÂNTICA. **Relatórios de atividades.** Fundação SOS Mata Atlântica. São Pauo – SP. 2008.
- SOS MATA ATLÂNTICA. **Notícias: mais da metade das cidades da Mata Atlântica têm menos de 30 % de vegetação natural.** 2022.
- TOTTI, M. **Gestão das águas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.** Governança, Instituição e Atores, 2008.
- VAN WAGNER, C. **The Line Intercept Method in Forest Fuel Sampling.** Forest Science. 1968
- VEIGA, L. G. **Estoque de madeira morta ao longo de um gradiente altitudinal de Mata Atlântica no nordeste do estado de São Paulo.** Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2010
- XAVIER, M. R.; KERR, A. **O efeito estufa e as Mudanças Climáticas Globais.** Instituto de Física da USP.



São Paulo – SP. 2011.



CONSULTORIA
ENGENHARIA
GERENCIAMENTO

© STCP Engenharia de Projetos Ltda. Todos os direitos reservados.

Todos os direitos de cópia, publicação, transmissão e/ou recuperação de todo ou parte por qualquer meio ou para todo o propósito, exceto por bona fide cópia pela contratante deste documento, como se expressa no título, são reservados.

STCP Engenharia de Projetos Ltda.

Rua Euzébio da Motta, 450, Juvevê
Curitiba/PR - 80530-260 - +55 41 3252-5861

www.stcp.com.br |    