



Nota Técnica – Metodologia Plataforma Cazul

Laís Silvéria, Escola Nacional de Ciências Estatísticas/IBGE;
Daniel Machado, Universidade de São Paulo/ESALQ;
Luiz Soares, profissional de comunicação ambiental
Wagner L.L. Costa, The University of Waikato, Nova Zelândia

plataformacazul.com.br

Contato:

plataformacazul@gmail.com



Quem somos

Missão

Nossa missão é ajudar a sociedade a construir alternativas econômicas que permitam “manter o mangue de pé”, trazendo para a mesa das negociações climáticas este importante ecossistema.

Visão

Ser a primeira plataforma de Carbono Azul do Brasil dedicada à construção de arranjos multissetoriais (sociedade civil organizada, iniciativa privada e poder público) para o desenvolvimento do potencial econômico dos estoques de carbono nos ambientes de manguezal.

Valores

Conservação, Tecnologia e Transformação



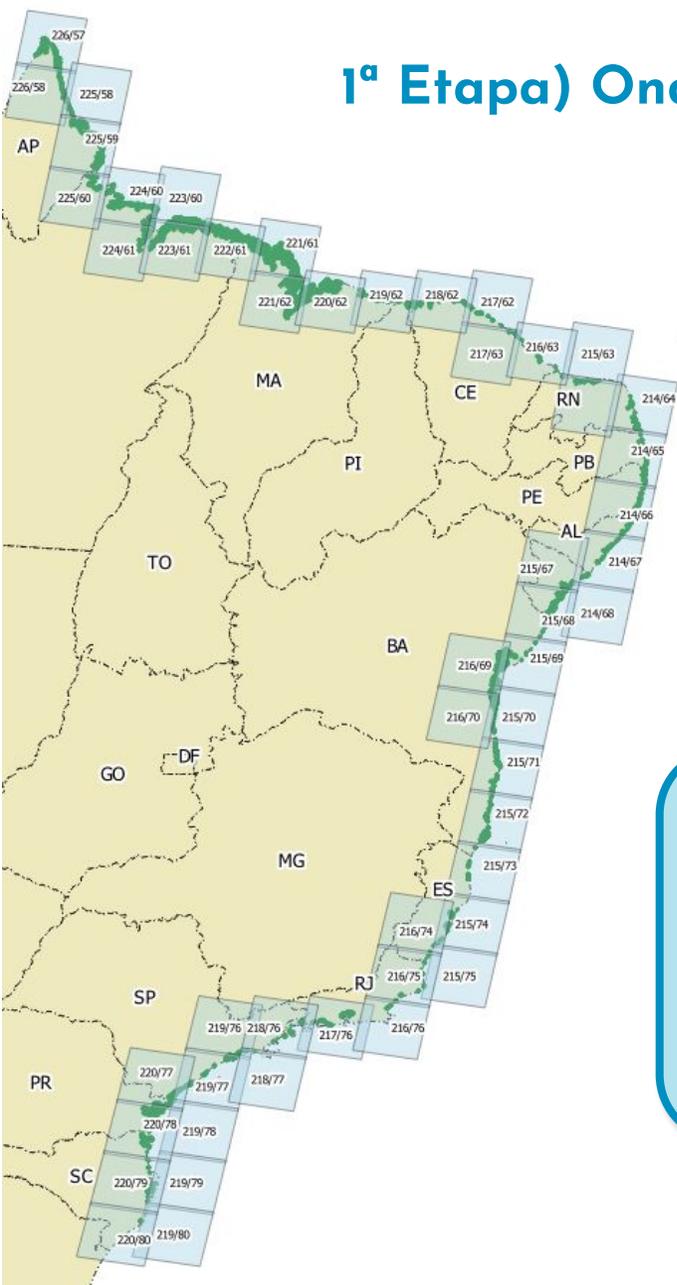
Atenção !

Os valores apresentados pela Plataforma Azul foram gerados com base em dados de sensoriamento remoto e levando em consideração as referências metodológicas do IV Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa (MCTI, 2020). A construção do inventário está fundamentada nas metodologias e equações propostas pelas diretrizes do Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006), adaptada às circunstâncias nacionais, revisada e atualizada. Essas estimativas são respaldadas por um robusto arcabouço científico, envolvendo consulta à literatura atualizada e especialistas das diversas regiões para a validação dos mapeamentos dos usos da terra, estoques e fatores de remoção de carbono.

Embora robusta, esta metodologia não substitui dados levantados a campo, que podem apresentar uma acurácia maior sobre o total de carbono estocado, nem estudos que se dedicam a descrever os fluxos de carbono na vegetação de manguezal, já que este tipo de vegetação não está contemplada no contexto do IV Inventário.

No entanto, os dados da Azul apresentam estimativas dos números de Carbono para as áreas de manguezal, com as limitações da metodologia descrita, na escala da paisagem, e auxilia os usuários na compreensão da importância dos manguezais para a conservação, conhecendo e comparando as áreas de manguezal do Brasil, o potencial estocado e o valor estimado de créditos de carbono para os biomas e municípios.

1ª Etapa) Onde estão as áreas de manguezal do Brasil?



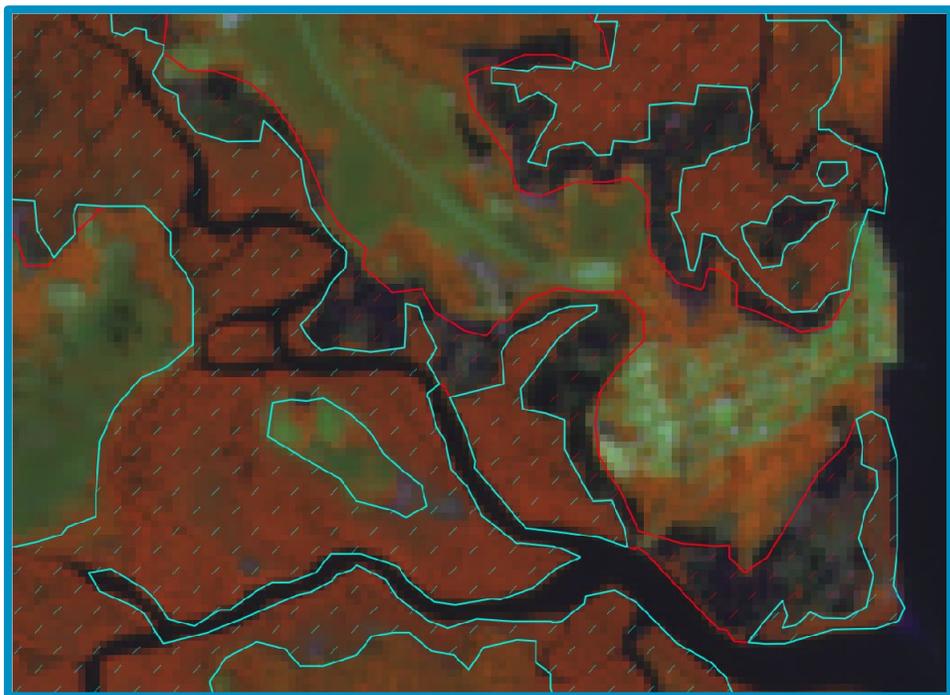
A Cazul identificou as áreas de manguezal do Brasil para o ano de 2021 utilizando como referência a área de manguezal disponibilizada pelo Centro Nacional de Monitoramento e Informações Ambientais (CENIMA/IBAMA)¹.

Quando coletamos esta base, o seu metadados (que é como se chama as informações sobre um dado) indicava o ano de 2016 como referência. Logo, nosso desafio foi verificar o quanto destas áreas continuavam sendo de manguezal em 2021 ou se houve alguma expansão no período.

Nosso mapeamento considerou 147 imagens de resolução espacial média (82 do satélite OLI/Landsat-8 e 65 dos satélites MSI/Sentinel-2A/2B) para o ano de 2021, atendendo aos melhores critérios de qualidade (correção atmosférica e geométrica), bem como a ausência de nuvens, permitindo a execução do mapeamento sem a presença de áreas não observadas.

¹ <https://dadosabertos.ibama.gov.br/dataset/vegetacao-de-mangue-brasileira>

1ª Etapa) Onde estão as áreas de manguezal do Brasil?



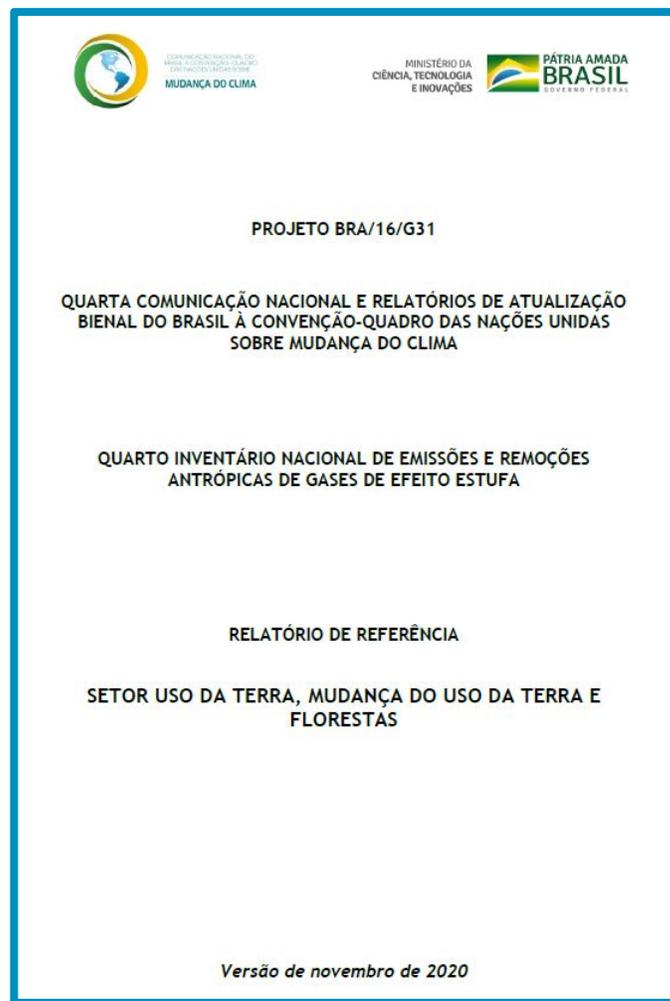
Nestas duas imagens vemos alguns pontos de atualização do mapeamento realizado pela Cazul na Ilha de Boipeba - Bahia. As áreas que originalmente continham vegetação de manguezal na base de 2016 do CENIMA estão em vermelho e foram removidas da base de 2021. Em azul somente as áreas que se mantiveram entre 2016 e 2021.

A figura da esquerda é uma imagem do satélite MSI/Sentinel-2A, com resolução de 20m, na composição NIR-SWIR-RED.



Nesta composição a vegetação aparece em tons de vermelho e marrom. Já na figura da direita vemos uma imagem de alta resolução disponibilizada pela Google na composição do visível. Nela, percebemos que boa parte das áreas removidas possivelmente se deve ao avanço da carcinicultura sobre as áreas de manguezal.

2ª Etapa) Associando os estoques de carbono às áreas de manguezal



A Cazul utilizou a metodologia que o Brasil aplica nas suas comunicações nacionais relativa aos inventários de emissões e remoções antrópicas de gases de efeitos estufa, especificamente para o setor de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. Essa comunicação é muito importante para o país no contexto das metas que foram assumidas para a redução de suas emissões e são apresentadas nas Convenções-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

Nesta metodologia, uma série de análises precisam ser consideradas para que os cálculos das emissões, remoções e estoques de Carbono ocorram. É importante, por exemplo, a distinção entre os biomas, pois há grande variação de estoque de carbono em cada uma de suas fitofisionomias. Da mesma forma, também existem diferentes potenciais de manutenção e aumento dos estoques, quando consideramos uma área de vegetação secundária (que está em processo de regeneração) e áreas de vegetação natural. Outro elemento que impacta na totalização dos estoques é se estas áreas encontram-se sob manejo, ou seja, dentro de unidades de conservação ou terras indígenas. Para que houvesse consistência com os dados oficiais produzidos, foram consideradas as camadas de informação utilizadas no IV Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa (MCTI, 2020), descritas na próxima página, e que estão disponíveis para acesso público² junto do seu Relatório de Referência³ (figura ao lado).

² <http://www.ccst.inpe.br/cn/> ³ <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>

2ª Etapa) Associando os estoques de carbono às áreas de manguezal

Base Auxiliar	Ano do dado	Fonte	Descrição do dado
Vegetação Pretérita	2019	IV Inventário Nacional de GEE	Este dado foi fruto do mapa de vegetação disponibilizado pelo IBGE (2017), com ajustes realizados pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB) (BRASIL, 2019) para as áreas antropizadas, comparações com o mapa de vegetação natural pretérita utilizado no Terceiro Inventário (MCTI, 2015) e detalhamento de fitofisionomias dominantes a partir de bases secundárias.
Uso e Cobertura da Terra	1994, 2002, 2010 e 2016	IV Inventário Nacional de GEE	Mapeamento de Cobertura e Uso do Solo utilizando técnicas de interpretação visual e classificadores automatizados para gerar uma série histórica de mapas anuais. Este dado foi atualizado para 2021.
Carbono no Solo	2002	IV Inventário Nacional de GEE <i>apud</i> . Bernaux et al, 2002	Essa estimativa seguiu a metodologia proposta por Bernoux et al. (2002) e consistiu nas seguintes etapas: (a) adaptação do mapa de solos do Brasil (EMBRAPA, 2003) em escala 1:5.000.000, (b) adaptação do mapa de vegetação do Brasil (IBGE, 2004) em escala 1:5.000.000, (c) geração do mapa de associação solo-vegetação, e (d) associação dos estoques de carbono orgânico dos solos ao mapa de solo-vegetação.
Unidades de Conservação	2016	IV Inventário Nacional de GEE, MMA e ICMBIO	A inclusão dessa camada de informação possibilitou classificar as áreas de vegetação natural como "manejadas" (ou seja, protegidas) ou "não manejadas" (ou seja, não protegidas). Quando uma área de vegetação está dentro de uma UC suas remoções de CO ₂ são contabilizadas a partir da sua data de criação, a partir de estudos científicos específicos para cada bioma sobre os fatores de remoção (taxa de sequestro de carbono na biomassa). Este dado foi verificado e atualizado para 2021.
Terras Indígenas	2016	IV Inventário Nacional de GEE e FUNAI	O mesmo entendimento apresentado acima se aplica ao dado de Terras Indígenas. Este dado foi verificado e atualizado em 2021.
Limite Municipal	2021	IBGE	A Malha Municipal da Divisão Político-Administrativa Brasileira é um produto elaborado pela Coordenação de Estruturas Territoriais - CETE da Diretoria de Geociências - DG e é publicada anualmente, contendo a representação político-administrativa dos estados e municípios praticada pelo IBGE com a finalidade de produção de dados estatísticos.
Limite do Bioma	2019	IBGE	O novo limite dos biomas publicado pelo IBGE foi preferido ao utilizado no IV Inventário Nacional de GEE pois é compatível com a escala 1:250.000. A atualização contempla, ainda, aperfeiçoamentos conceituais e tecnológicos para a melhor representação dos limites dos Biomas considerando processos de investigação, revisão bibliográfica e contatos interinstitucionais, além de levantamentos de campo que confirmaram o ambiente físico-biótico e a vegetação pretérita.

O grande diferencial da Cazul foi trazer o recorte espacial destes dados para as áreas de manguezal, algo que até o momento não foi incorporado pelo Brasil nos inventários.



2ª Etapa) Associando os estoques de carbono às áreas de manguezal

A partir do cruzamento das camadas de informação apresentadas na página anterior com o resultado do mapeamento das áreas de manguezal para o ano de 2021, foram realizados diversos processamentos em ambiente de banco de dados e softwares SIG para a associação dos estoques de carbono e estimativas das toneladas de Carbono por hectare nas áreas de manguezal. Um exemplo dessa integração é apresentado na figura à esquerda, onde **c_solo** representa a **tonelada de carbono no solo/hectare** e a **area_ha** é o tamanho da **área de manguezal mapeada**.

c_solo	bioma	nome	area_ha	geocode	uf
19,2	Mata Atlântica	Jaguaripe	59,226017	2917805	Bahia
19,2	Mata Atlântica	Jaguaripe	118,260389	2917805	Bahia
19,2	Mata Atlântica	Jaguaripe	9,939814	2917805	Bahia
20,9	Mata Atlântica	Cachoeira	9,794042	2904902	Bahia
20,9	Mata Atlântica	Cachoeira	2,682714	2904902	Bahia
20,9	Mata Atlântica	Cachoeira	5,967307	2904902	Bahia
20,9	Mata Atlântica	Cachoeira	284,896613	2904902	Bahia

Coluna de atributo	Descrição da informação
c_pretorig	Fitofisionomia
cagb	Carbono da biomassa viva acima do solo (tC/ha)
cbgb	Carbono da biomassa viva abaixo do solo (tC/ha)
cdw	Carbono da madeira morta e em pé acima do solo (tC/ha)
clitter	Carbono da serapilheira acima do solo (tC/ha)

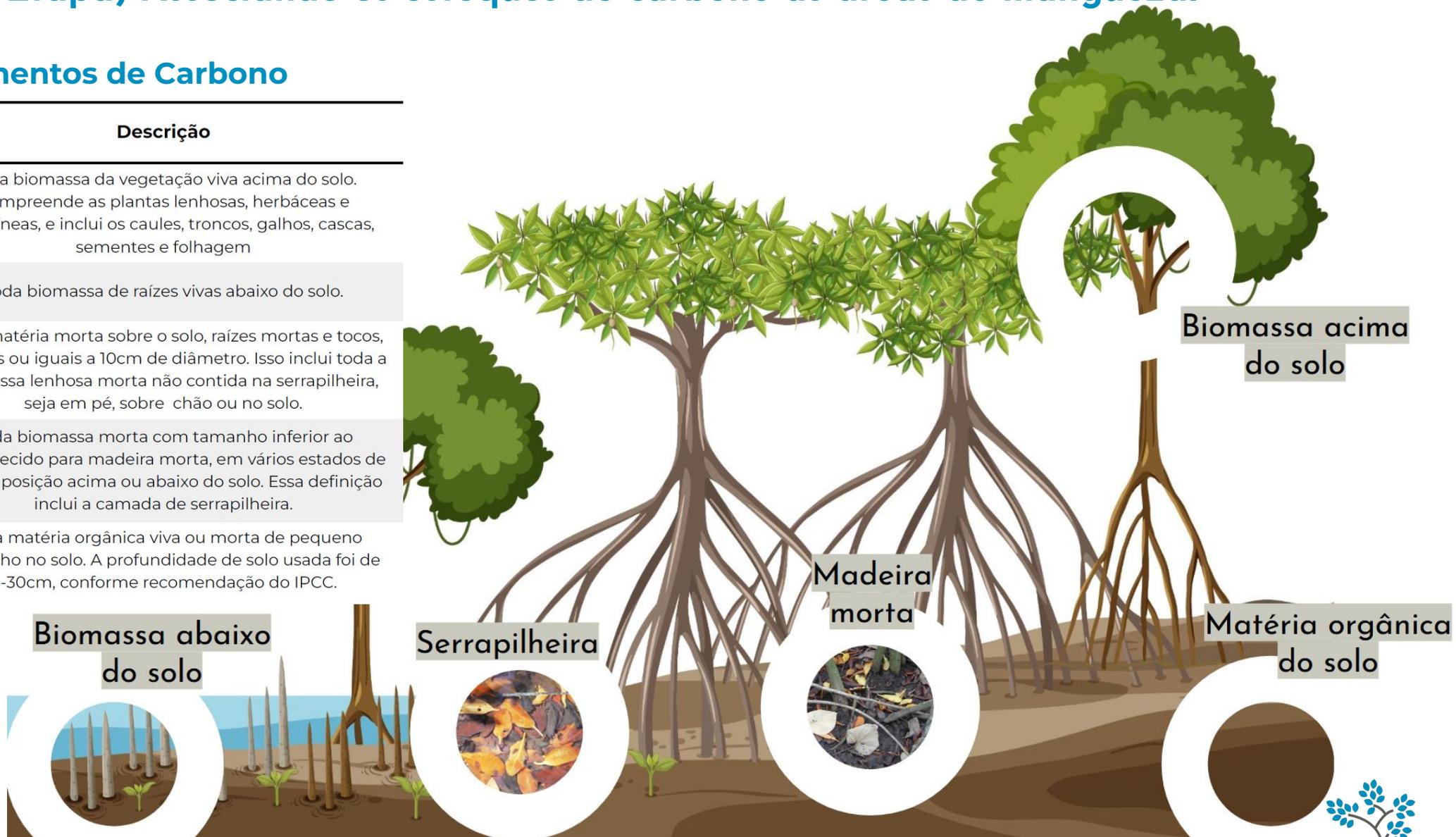
Este mesmo procedimento foi realizado para os demais compartimentos de carbono a partir dos estoques atribuídos no dado de vegetação pretérita do IV Inventário Nacional de GEE (MCTI, 2020) (figura acima à direita).

O resultado desta integração gerou um dado geoespacial das áreas de manguezal com 68 colunas de informação, descrevendo biomas, fitofisionomias, fatores de remoção, cálculo de estoques, compartimentos de carbono, presença de áreas protegidas, dentre outros.

2ª Etapa) Associando os estoques de carbono às áreas de manguezal

Compartimentos de Carbono

Compartimento	Descrição
Biomassa acima do solo	Toda biomassa da vegetação viva acima do solo. Compreende as plantas lenhosas, herbáceas e gramíneas, e inclui os caules, troncos, galhos, cascas, sementes e folhagem
Biomassa abaixo do solo	Toda biomassa de raízes vivas abaixo do solo.
Madeira morta	Toda matéria morta sobre o solo, raízes mortas e tocos, maiores ou iguais a 10cm de diâmetro. Isso inclui toda a biomassa lenhosa morta não contida na serrapilheira, seja em pé, sobre chão ou no solo.
Serrapilheira	Toda biomassa morta com tamanho inferior ao estabelecido para madeira morta, em vários estados de decomposição acima ou abaixo do solo. Essa definição inclui a camada de serrapilheira.
Matéria orgânica do solo	Toda matéria orgânica viva ou morta de pequeno tamanho no solo. A profundidade de solo usada foi de 0-30cm, conforme recomendação do IPCC.



3ª Etapa) Calculando os estoques de carbono das áreas de manguezal

a) A primeira etapa foi, a partir do dado de uso e cobertura da terra do IV Inventário, atualizar a informação para o ano de 2021 mapeado pela Cazul. Neste exemplo vemos uma área de manguezal de 100 hectares que, desde 1994, está mapeada como floresta (F):



b) A etapa seguinte foi qualificar o bioma e o tipo de fitofisionomia a que esta floresta pertence. Neste exemplo é uma área de floresta do bioma Amazônia pertencente a fitofisionomia de vegetação com influência fluviomarinha. A partir destas informações conseguimos associar o estoque da área considerando o mapa de Vegetação Pretérita e de Carbono do Solo do IV Inventário Nacional de GEE (MCTI, 2020).



Cada um desses valores é multiplicado por 100, que é o tamanho da nossa área neste exemplo. Quando somados, as **7.955 toneladas de carbono** nos informam o estoque inicial a ser associado para o ano de 1994 para esta área.

c) A próxima etapa foi trazer a informação de áreas manejadas para o dado. Para o nosso exemplo, foi criada uma unidade de conservação (UC) em 2005. Com isso, nossas classes do Mapa de Uso e Cobertura da Terra precisam ser atualizadas:



3ª Etapa) Calculando os estoques de carbono das áreas de manguezal

d) Este é um caso simplificado para os cálculos de estoque de carbono. No entanto, é importante considerar que a cada transição de classes entre os anos é calculado um valor de emissão de CO₂ (quando a classe do ano final estoca menos carbono que a classe do ano inicial, havendo perda do estoque de carbono no ano final) e remoção de CO₂ (quando a classe do ano final estoca mais carbono que a do ano inicial e, com isso, aumenta o total de carbono no ano final).

No nosso exemplo, seguindo a metodologia do inventário, entre os anos de 1994 e 2002 a classe se manteve a mesma (FNM) e, por isso, não houve remoção nem emissão de CO₂ pela vegetação. No entanto, entre 2002 e 2010, esta área passou a ser manejada, pois foi criada uma unidade de conservação em 2005. Por isso, houve um aumento na remoção de CO₂ pela vegetação. Uma equação, como a que segue, é uma das muitas descritas na metodologia do inventário e precisa ser aplicada dependendo de cada situação entre o ano 1 e o ano 2 para verificar o estoque final da vegetação.

$$R = A \times \Delta C_{gVM} \times (T_2 - T_{am}) \times f_c(\text{CO}_2)$$

Onde:

R: Remoção de carbono associado à unidade de área no período

A: Área em hectares (ha) da unidade de área

ΔC_{gVM} : Ganho anual de estoque de vegetação natural manejada, que varia de acordo com a classe e o bioma, e está descrito na metodologia do IV Inventário Nacional de GEE (MCTI, 2020).

T₂: Ano final

T_{am}: Ano de criação da área manejada

f_c(CO₂): Fator de conversão de C em CO₂ (44/12 ou 3,666666667)

No exemplo, a remoção calculada entre 2002 e 2010 foi de **880 toneladas de CO₂**.

As remoções continuarão ocorrendo até 2021 em razão da área continuar sendo protegida.



3ª Etapa) Calculando os estoques de carbono das áreas de manguezal

e) O resultado do estoque final de cada uma das áreas de manguezal para o ano de 2021 considera, portanto, todas as transições verificadas pelo IV Inventário Nacional de GEE (MCTI, 2020), através do seu Mapa de Uso e Cobertura da Terra, desde 1994, e a atualização realizada pela Cazul no ano de 2021, com a seguinte equação:

$$\text{Estoque Final} = \text{Estoque de C solo} + \text{Estoque da Veg (+Remoção - Emissão)}$$

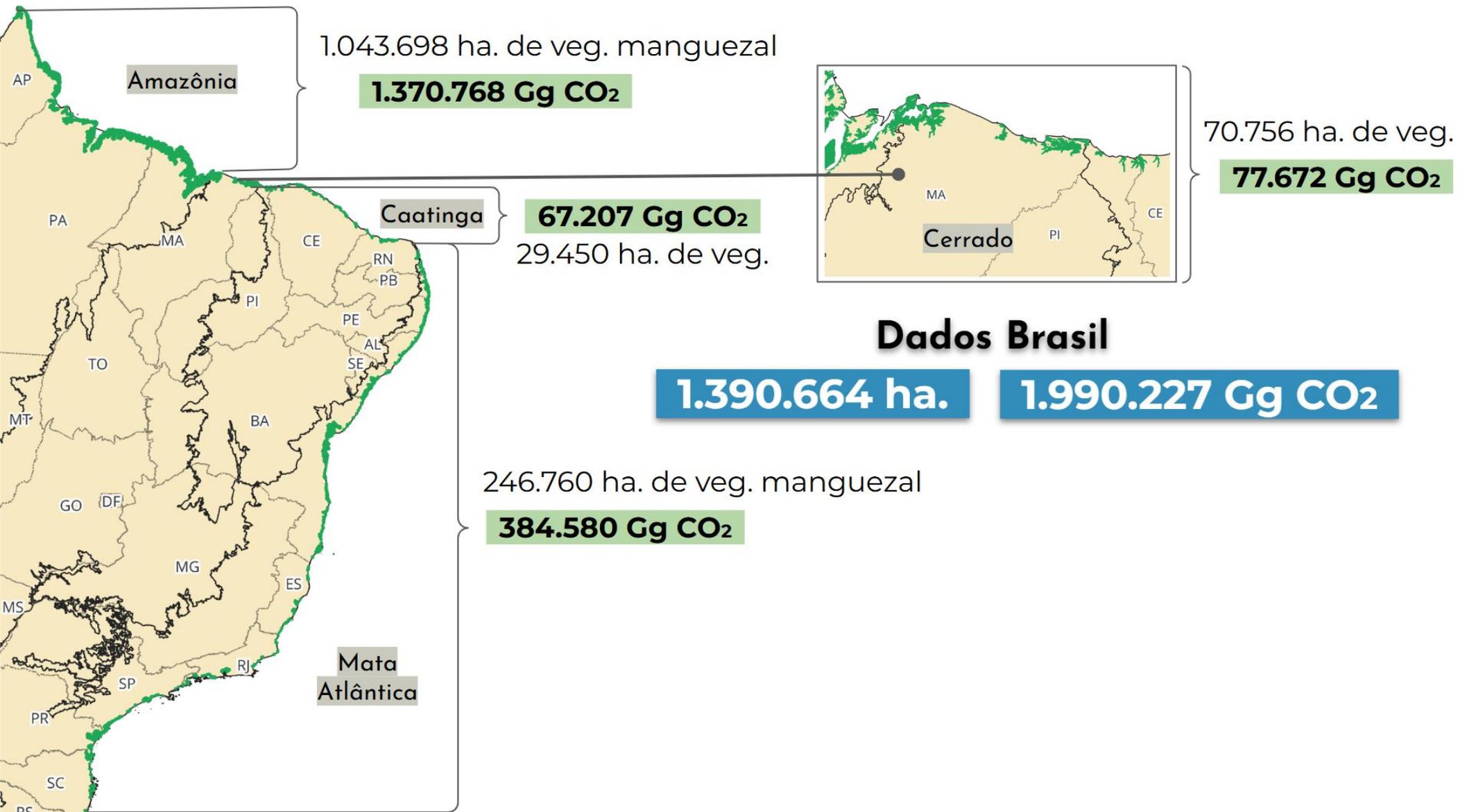
f) Os resultados foram gerados em toneladas de Carbono e convertidos para CO₂ multiplicando-se pelo fator de conversão de C para CO₂, que é 44/12 ou 3,666666667.

g) Por fim, os dados gerados refletem a informação do IV Inventário Nacional de GEE (MCTI, 2020), mas com o recorte espacial para as áreas de manguezal. Esta metodologia, no entanto, não faz distinção de formações florestais de manguezal e apresenta os valores calculados para estoques de floresta consideradas como vegetação com influência fluviomarinha, independente destas pertencerem a áreas de manguezal.

No entanto, alguns estudos já apresentam estimativas de que cada hectare de manguezal no Brasil pode armazenar entre duas e quatro vezes mais carbono do que um mesmo hectare de outro bioma qualquer⁴. Por esta razão, a partir dos resultados que foram alcançados foi adotado um valor de 3,5x, baseado na média das referências consultadas, para se aproximar de um valor que representasse melhor as áreas de manguezal (MMA, 2018; Kauffman et al, 2018; Rovai et al, 2022). Os resultados são apresentados na página seguinte.

⁴ <https://jornal.usp.br/ciencias/recheados-de-carbono-azul-manguezais-ganham-destaque-no-combate-as-mudancas-climaticas/>

3ª Etapa) Calculando os estoques de carbono das áreas de manguezal



Referências

BERNOUX, M. *et al.* *Brazil's soil carbon stocks*. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 888-896, 2002.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. *Florestas do Brasil em resumo: 2019*/ Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Serviço Florestal Brasileiro. Brasília: MAPA/SFB, 2019. 212 p.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2003.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. *Mapa de Vegetação do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/22453-cartas-1-250-000.html?=&t=acesso-ao-produto.

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. *Vol. 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Ch. 4. Forestland*. EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (eds.). Japan: IGES, 2006.

KAUFFMAN JB, BERNARDINO AF, FERREIRA TO, GIOVANNONI LR, de O. GOMES LE, ROMERO DJ, JIMENEZ LCZ, RUIZ F. 2018. *Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil*. **Biol. Lett.** 14: 20180208.

MCTI. **MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**. *Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência – Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas*. Brasília, 2015. 343 p.

MCTI. **MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**. *QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Relatório de Referência – Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terras e Florestas*. 2020. 314 p.

MMA. *Atlas dos Manguezais do Brasil* – Brasília: **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade**, 2018. 176 p.

ROVAI AS. , TWILLEY RR. , WORTHINGTON TA. , RIUL P. *Brazilian Mangroves: Blue Carbon Hotspots of National and Global Relevance to Natural Climate Solutions*. **Frontiers in Forests and Global Change**, vol. 4. 2022

