



Universidade de São Paulo
PPG em Solos e Nutrição de Plantas
Modelagem da Dinâmica da Matéria Orgânica
do Solo 2020/01
Seminário



ELSEVIER

Environmental Pollution

journal homepage: www.elsevier.com/locate/envpol



Soil carbon inventory to quantify the impact of land use change to mitigate greenhouse gas emissions and ecosystem services[☆]

Daniel Ruiz Potma Gonçalves^a, João Carlos de Moraes Sá^{b,*}, Umakant Mishra^c,
Flávia Juliana Ferreira Furlan^d, Lucimara Aparecida Ferreira^d, Thiago Massao Inagaki^e,
Jucimare Romaniw^a, Ademir de Oliveira Ferreira^f, Clever Briedis^g

^a Agronomy Graduate Program at Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Ciência Do Solo e Engenharia Agrícola, 4748, General Carlos Cavalcanti Av, 84030-900, Ponta Grossa, Paraná, Brazil

Docente: Carlos E. P. Cerri

Discentes: Laís C. Z. Jimenez
Marina L. A. Melo

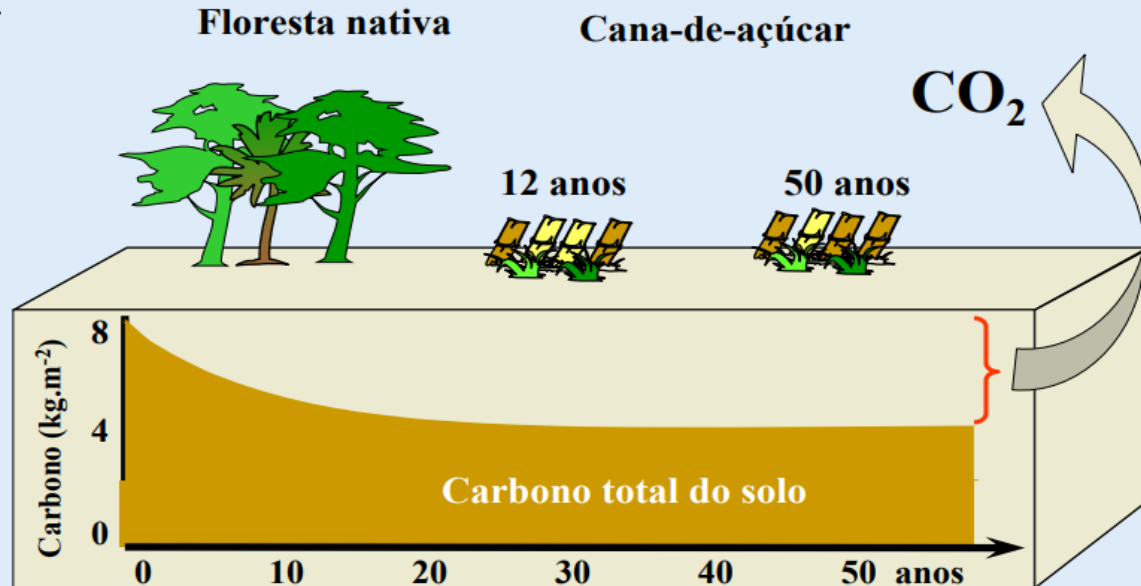
Piracicaba, SP
29 de maio de 2020

Introdução

Mudança de uso do solo e emissões de gases do efeito estufa (GEE)

- 40% superfície terrestre é utilizada para produção agrícola
- Salvaguarda para segurança alimentar e energética

- 8% das emissões mundiais: $1,3 \pm 0,5$ Pg C ano⁻¹



21ª Conferência das Partes (COP21) da UNFCCC

- Acordo de Paris
 - NDC 2525/2005, -37%; 2030/2005, -43%
 - ✓ Reformulação matriz energética e replantio de mais de 12 mi ha floresta
- C-solo e agricultura estiveram na agenda



América do Sul

??

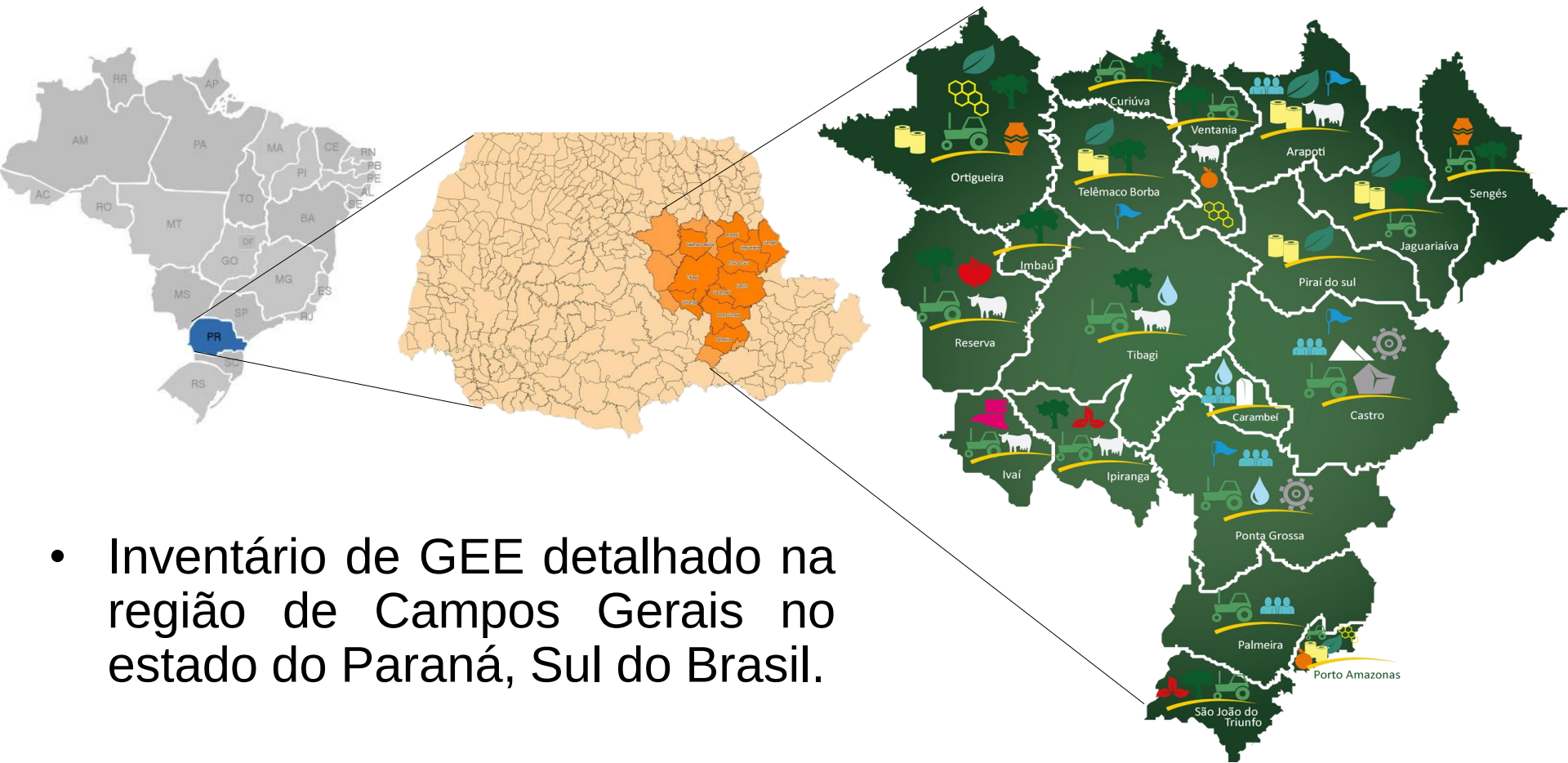


- Responsável por 31,3% das emissões globais anuais de GEE - LULUC (0,34/1,1 Pg)
- Estimativas mitigação GEE 2016-2050: Agricultura de baixo carbono em larga escala: 8,24 Pg C

Inventários em escala nacional ou regional ainda são raros

A falta de dados resulta na propagação de incertezas relacionadas a esse potencial de sequestro de C e mitigação do efeito estufa.

Material e métodos



- Inventário de GEE detalhado na região de Campos Gerais no estado do Paraná, Sul do Brasil.
- O modelo Century foi utilizado para simular a adoção das melhores práticas de gestão de conservação em áreas de cultivo inteiras da região.

2016

A população regional atinge
1,1 milhão de habitantes

2013

Amostragem na fazenda
Paiquêre

1985

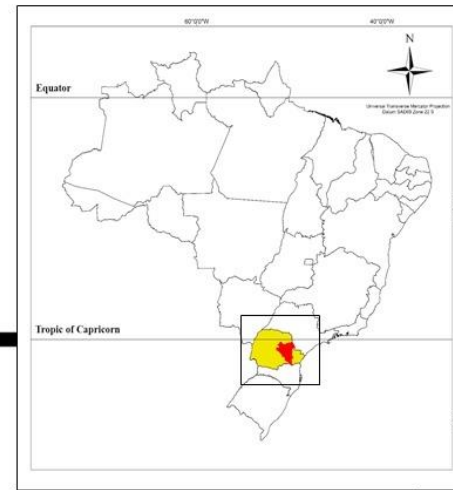
Adoção do SPD em larga
escala

1970

Conversão das pastagens em
agricultura. Industrialização
regional. A população cresce
para 126.940 habitantes

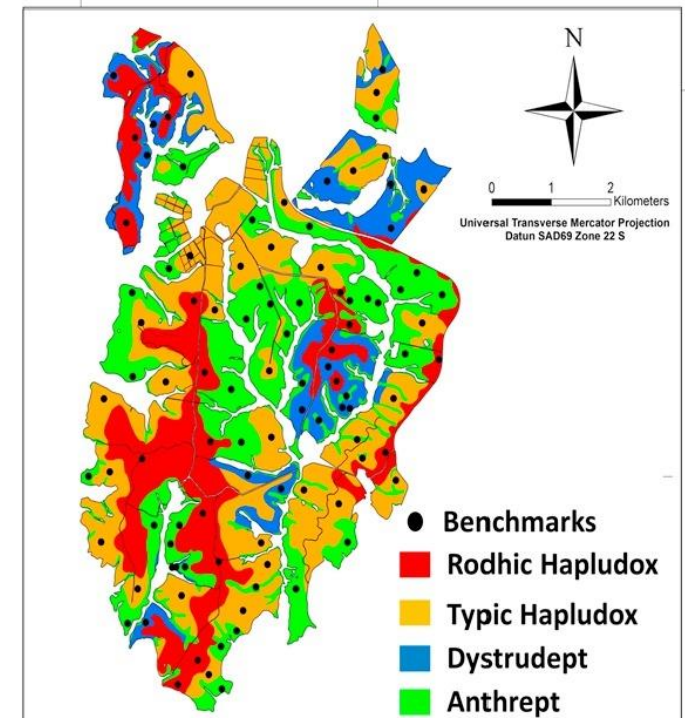
1930

Conversão da vegetação nativa
a pastagens em larga escala



50° 9' 0" W

50° 6' 0" W



Avaliação do potencial da agricultura conservacionista para mitigar emissões de GEE

- Fazenda do Paiquerê - produção conservacionista



- Há 30 anos, sua produção inclui cobertura permanente do solo, terraceamento e plantio direto associado à rotação intensiva de culturas.
- O modelo Century foi calibrado utilizando observações de atributos do solo e produtividade da fazenda.



Fonte: <https://cdn.comprerural.com/wp-content/uploads/2017/09/plantio-direto-640x480.jpg>

Inventário das emissões

Emissões totais = Mudança e uso da terra + Queima de combustíveis fósseis + Outras fontes



$$LUC_{em} = \text{Vegetation slash and burn}_{em} + \text{Wetland draining}_{em} + SOC_{em}$$

$$LU_{em} = \text{Soil tillage } SOC_{em} - \text{No-till } SOC_{seq} - \text{Vegetation growth}_{seq} + \text{Farm and forestry}_{em} + \text{Livestock}_{em}$$



$$\text{Fossil Fuel}_{em} = \text{Household}_{em} + \text{Transport}_{em} + \text{Industrial}_{em} \quad (5)$$

$$\text{Household}_{em} = \text{Liquid petrol gas}_{em} + \text{Lightning kerosene}_{em} \quad (6)$$

$$\text{Transport}_{em} = \text{Gasoline}_{em} + \text{Diesel}_{em} + \text{Natural gas}_{em} + \text{aviation gasoline}_{em} \quad (7)$$

$$\text{Industrial}_{em} = \text{Natural gas}_{em} \quad (8)$$

$$\text{Others}_{em} = \text{Waste recycle}_{seq} \quad (9)$$

O Modelo Century

- Dados para a calibração: amostras de solo + dados ambientais

- Etapas de calibração e validação:

- i) Inicialização e calibração dos arquivos “Crop.100” usando rendimentos médios das culturas de milho, soja e trigo do banco de dados da fazenda.

Os índices “rendimento/broto” e “raiz/broto” foram usados para estimar a entrada de biomassa-C das culturas

ii) As variáveis dos “outputs” do modelo foram comparadas com valores medidos para a validação.

Variáveis utilizadas:

- Rendimento econômico de C em grão + tubérculos, “cgrain”
- C da biomassa viva acima do solo, “aglivc”
- C da biomassa viva no solo, “bglivc”

iii) Simulação do estoque de C orgânico no solo. Houve bom ajuste entre valores observados e simulados (erro médio de $9,57 \text{ Mg ha}^{-1}$)

Projeções futuras e análise de incertezas

i) A partir dos 98 dados amostrais, foi construída uma regressão linear múltipla ajustando os estoques de SOC medidos em função do SOC simulado, textura do solo e densidade do solo:

$$\text{SOC medido} = \beta_0 + \beta_1 * \text{SOC Simulado} + \beta_2 * \text{Silte} + \beta_3 * \text{Areia} + \beta_4 * \text{Argila} + \beta_5 * \text{Densidade do solo}$$

ii) As variáveis selecionadas (p valor $< 0,05$) foram utilizadas para o cálculo da incerteza, considerando distribuição normal

iii) 10.000 amostras foram simuladas para as variáveis selecionadas

Projeções futuras e análise de incertezas

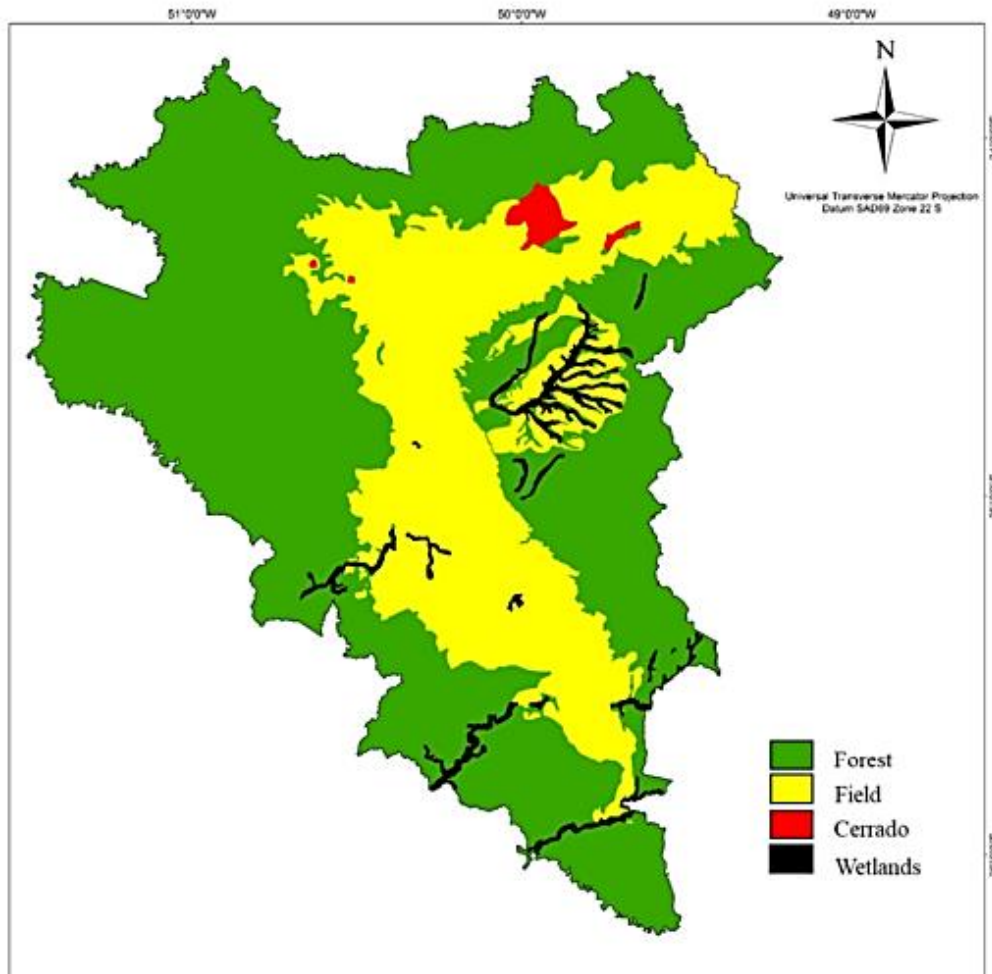
iv) Com os coeficientes da regressão linear múltipla e as variáveis simuladas (Sim var.), foi possível executar a equação seguinte 10.000 vezes:

$$\text{SOC estimado} = \beta_0 + \beta_1 * \text{Sim var.1}(1|10.000) + \beta_2 * \text{Sim var.}(1|10.000) + \beta_3 * \text{Sim var.}(1|10.000) + \beta_4 * \text{Sim var. 4}(1|10.000) + \beta_5 * \text{Sim var. (1|10.000)}$$

v) Os intervalos de confiança de 95% foram gerados usando os 10.000 valores de SOC estimados.

Resultados e discussão

Vegetação nativa na região de Campos Gerais, PR, Brasil



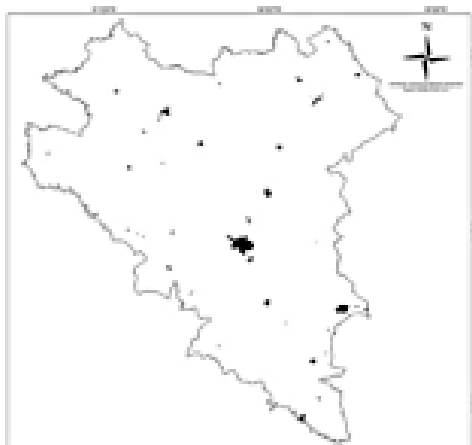
- A vegetação nativa era dominada por **florestas** (65%), **pradarias** (31%) e **pântanos** (3%)
- Cerca de 70% da área terrestre foi convertida em terra cultivada
- As áreas restantes são basicamente APP ao longo das margens dos rios

Vegetação nativa na região de Campos Gerais, PR, Brasil

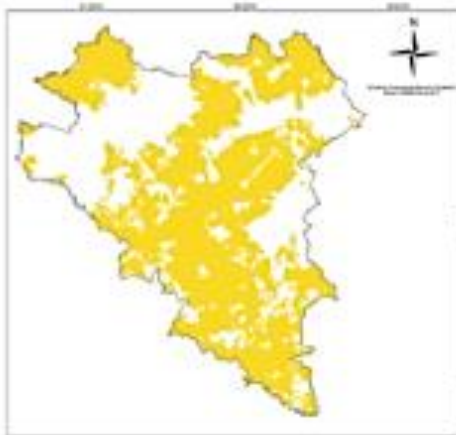
		Pradaria	Floresta	Cerrado	Pântano	Total
Área (ha)		1.006.007	2.127.423	31.548	85.234	3.250.212
C (Mg ha ⁻¹)	Solo (0-20 cm)	94,9 (23,3)	165,3 (27,2)	61,6 (21,5)	123,4 (24,9)	
	Biomassa PA	2,4 (0,3)	89 (48)	13,6 (5,3)	1,9 (0,7)	
	Biomassa S	2,1 (0,6)	6,3 (4,5)	12,2 (8,8)	1,7 (0,6)	
	Total	99,4 (23,3)	260,6 (55,3)	87,4 (23,8)	127 (24,9)	69%
C (Tg)	Solo (0-20 cm)	95,5 (23,4)	351,7 (57,9)	1,9 (0,7)	10,5 (2,1)	459,6 (62,5)
	Biomassa PA	2,4 (0,3)	189,3 (102,1)	0,4 (0,2)	0,2 (0,06)	192,3 (102,1)
	Biomassa S	2,1 (0,6)	13,4 (9,6)	0,4 (0,3)	0,1 (0,05)	16 (9,6)
	Total	100 (23,4)	554,4 (117,6)	2,8 (0,7)	10,8 (2,1)	668 (120)
		15%	83%	0,4%	1,6%	

As áreas foram obtidas de ITCG (2017). Os estoques de carbono foram obtidos de Hartman et al. (2014), Abdala et al. (1998), De Castro e Kauffman (1998); Silver et al. (2000), Pillar et al. (2009), Watzlavick et al. (2012), Mello et al. (2014), Sa et al. (2014) e Goncalves et al. (2017).

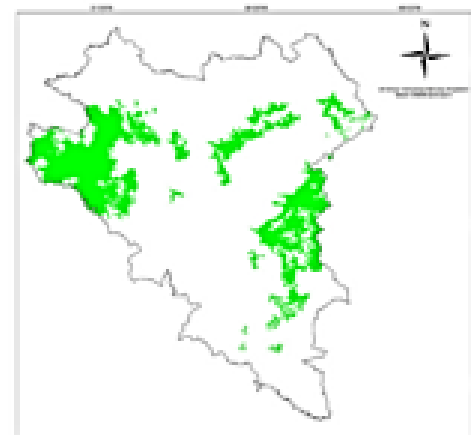
Uso da terra na região de Campos Gerais, PR, Brasil



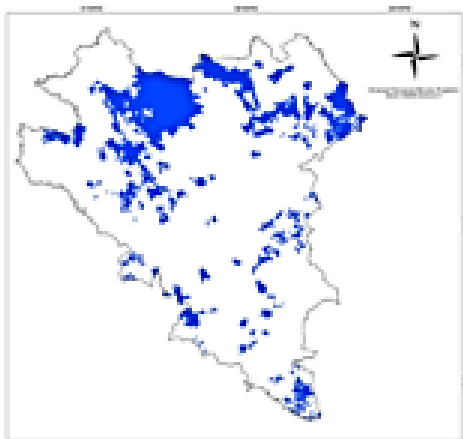
Terras urbanas



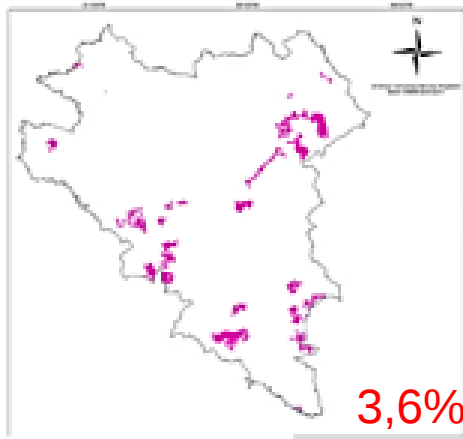
Agricultura



Pastagens



Floresta plantada



Floresta nativa



Todos os usos

Histórico de mudança no uso da terra e estoques de C

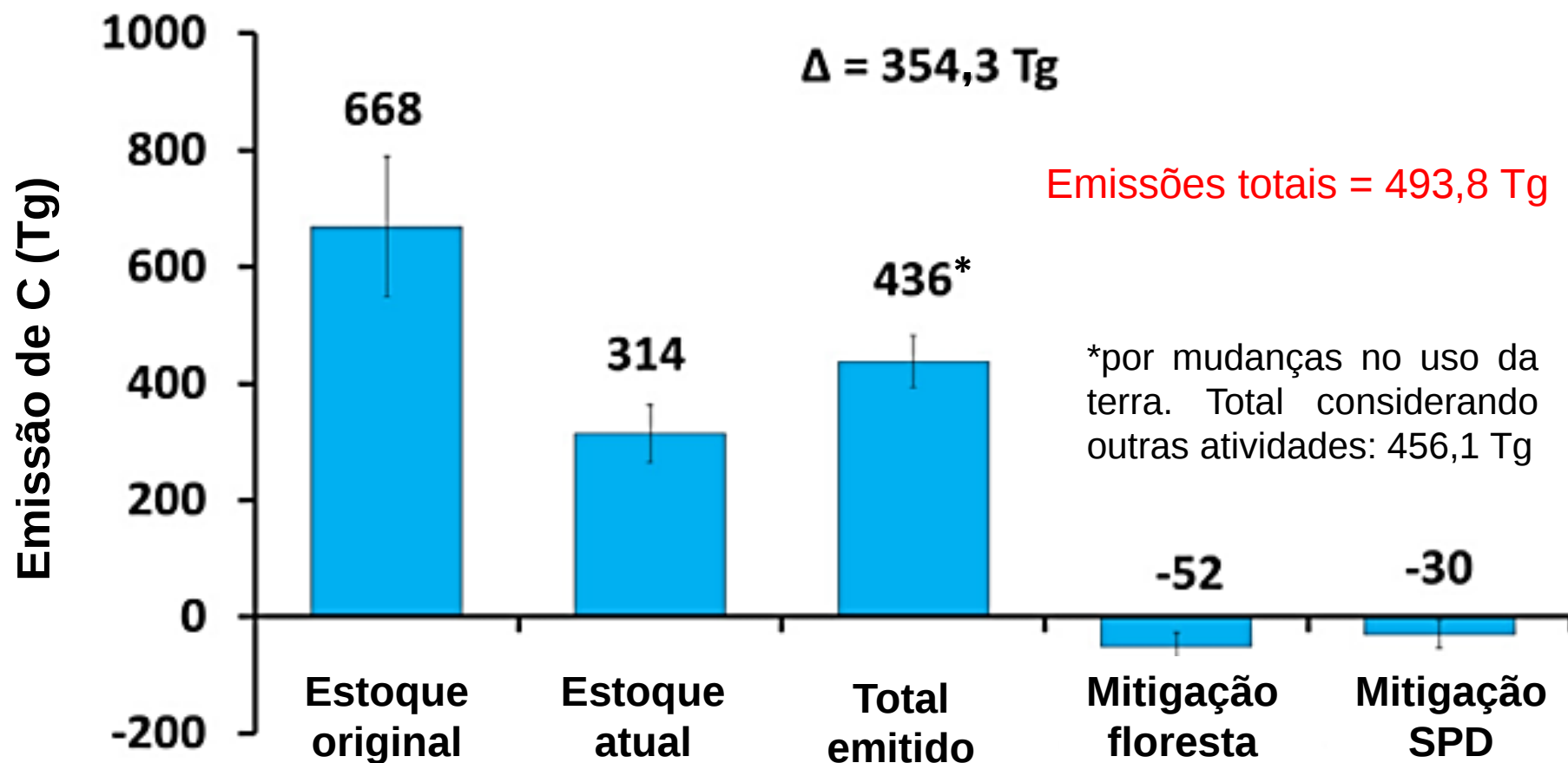
Ano	Estoque de C (Mg ha ⁻¹)	Área (ha)	Uso da terra				
			Vegetação nativa		Atividade econômica		
			Floresta	Pântano	Pastagem	Floresta plantada	Agricultura
			107.809	8.310	3.134.093	-	-
1930-1969	Solo (0-20 cm)		165,3 (27,2)	123,4 (24,9)	94,9 (23,3)	-	-
	Biomassa PA		89 (48)	1,9 (0,7)	2,4 (0,3)	-	-
	Biomassa S		6,3 (4,5)	1,7 (0,6)	2,1 (0,6)	-	-
	Total		260,6 (55,3)	127 (24,9)	99,4 (23,3)	-	-
	C total (Tg)		28,1* (6)	1,1* (0,2)	311,5 (73)	-	-
1970			107.809	8.310	622.915	583.032	1.928.146
	Solo (0-20 cm)		165,3 (27,2)	123,4 (24,9)	94,9 (23,3)	94,9 (23,3)	64,5 (23,3)
	Biomassa PA		89 (48)	1,9 (0,7)	2,4 (0,3)	-	2,6 (0,35)
	Biomassa S		6,3 (4,5)	1,7 (0,6)	2,1 (0,6)	-	1,0 (0,1)
	Total		260,6 (55,3)	127 (24,9)	99,4 (23,3)	94,9 (23,3)	68,2 (23,3)
	C total (Tg)		28,1 (6)	1,1 (0,2)	61,9 (14,5)	55,3 (13,6)	131,4 (44,9)

*28,1 + 1,1 = 29, 2 = 4,4% do estoque de C original da vegetação nativa (668 Tg).

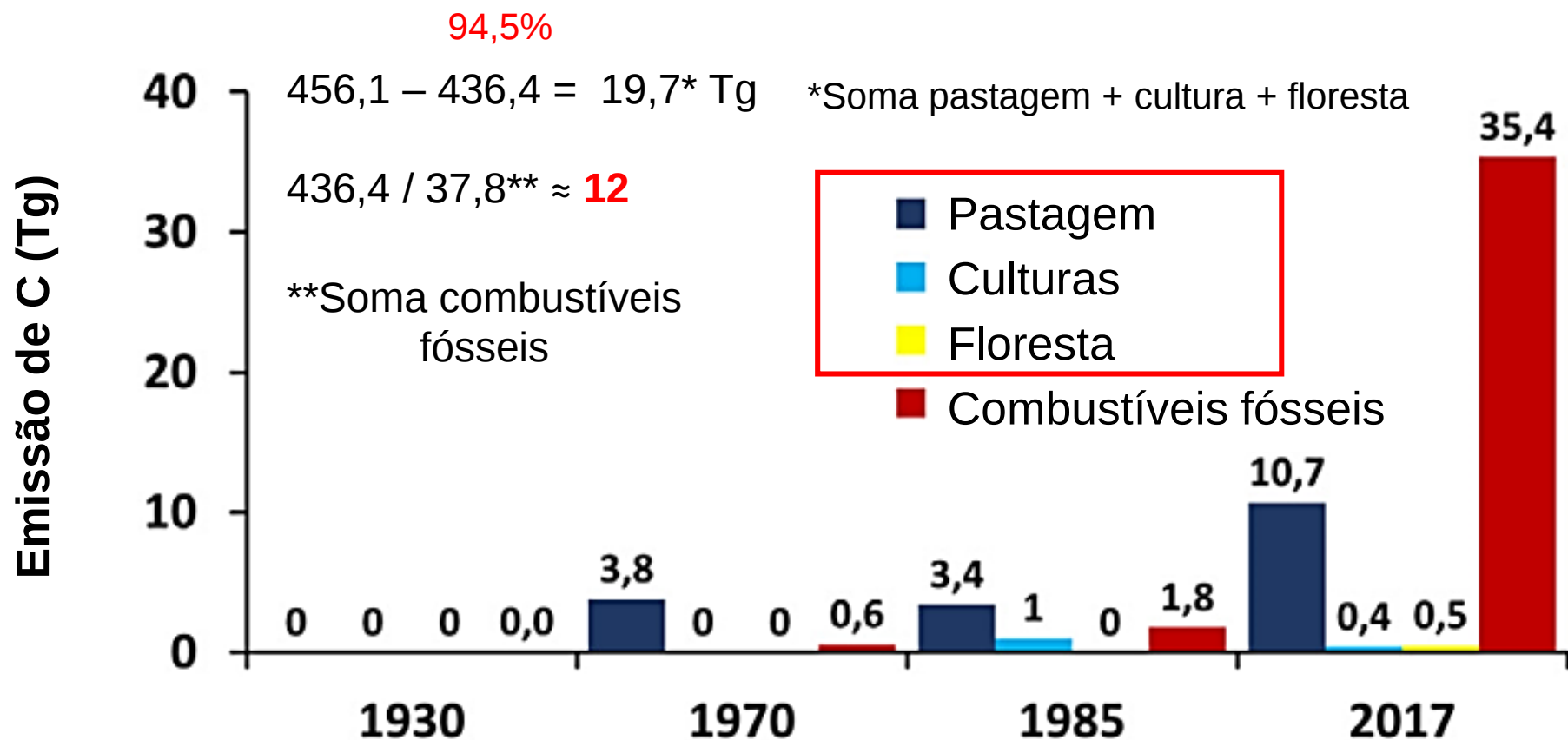
Ano	Estoque de C (Mg ha ⁻¹)		Uso da terra				
			Vegetação nativa		Atividade econômica		
			Floresta	Pântano	Pastagem	Floresta plantada	Agricultura
			107.809	8.310	622.915	583.032	1.928.146
1971-1984	Solo (0-20 cm)	Área (ha)	165,3 (27,2)	123,4 (24,9)	94,9 (23,3)	117,9 (23,3)	40,5 (23,3)
	Biomassa PA		89 (48)	1,9 (0,7)	2,4 (0,3)	42,62 (6,0)	2,6 (0,35)
	Biomassa S		6,3 (4,5)	1,7 (0,6)	2,1 (0,6)	-	1,0 (0,1)
	Total		260,6 (55,3)	127 (24,9)	99,4 (23,3)	160,5 (23,8)	44,2 (23,3)
	C total (Tg)		28,1 (6)	1,1 (0,2)	61,9 (14,5)	93,6 (13,9)	85,2 (44,9)
1985-2017	Solo (0-20 cm)		165,3 (27,2)	123,4 (24,9)	94,9 (23,3)	140,9 (23,3)	56,3 (23,3)
	Biomassa PA		89 (48)	1,9 (0,7)	2,4 (0,3)	42,62 (6,0)	2,6 (0,35)
	Biomassa S		6,3 (4,5)	1,7 (0,6)	2,1 (0,6)	-	1,0 (0,1)
	Total		260,6 (55,3)	127 (24,9)	99,4 (23,3)	183,5 (23,8)	60 (23,3)
	C total (Tg)		28,1 (6)	1,1 (0,2)	61,9 (14,5)	107 (13,9)	115,6 (44,9)

Estoque de C relativo: vegetação nativa > floresta plantada > pastagem > agricultura.

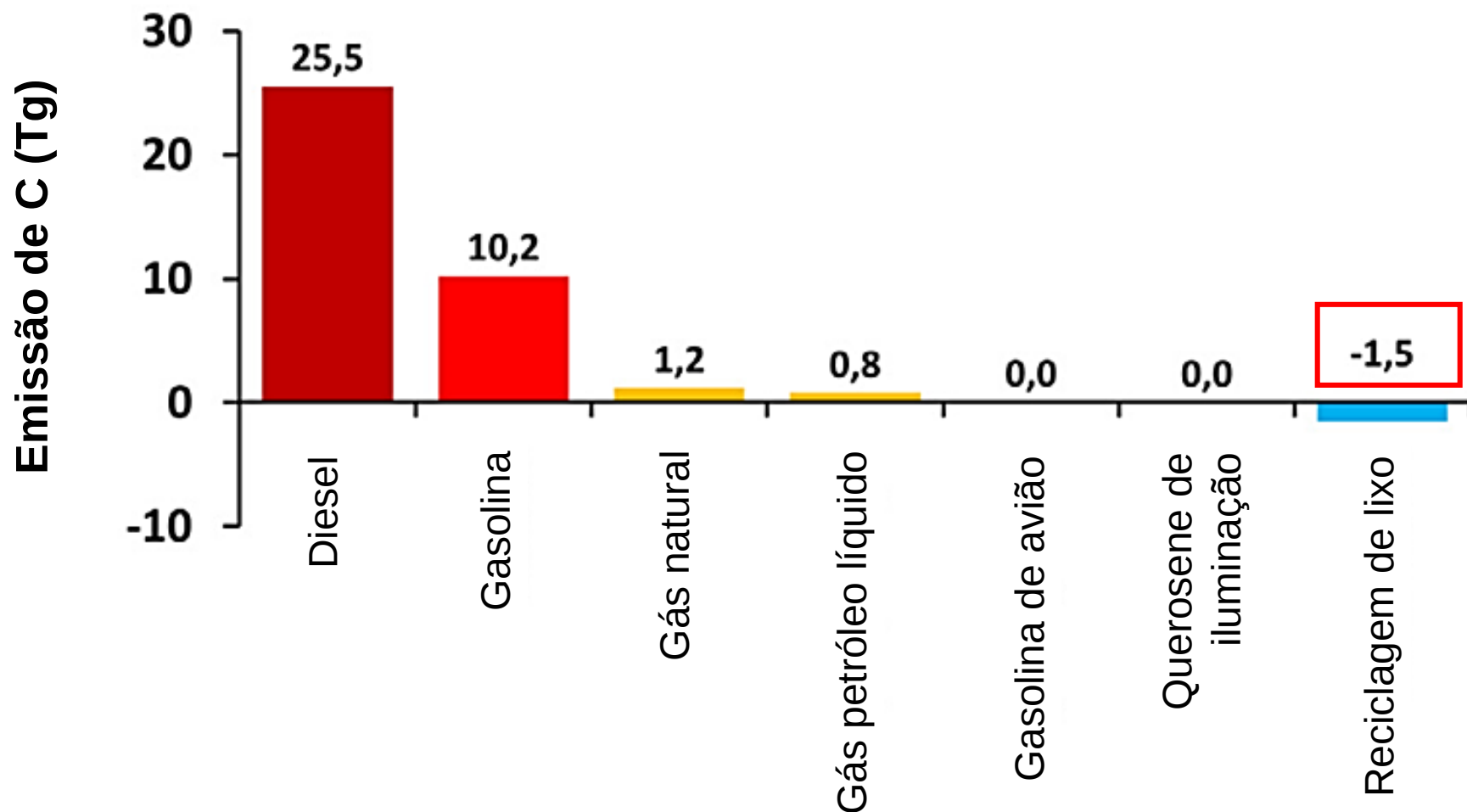
Histórico de estoques de C e emissões de GEE



Estoques de C dos ecossistemas, emissão de GEE e mitigação por mudanças no uso da terra.

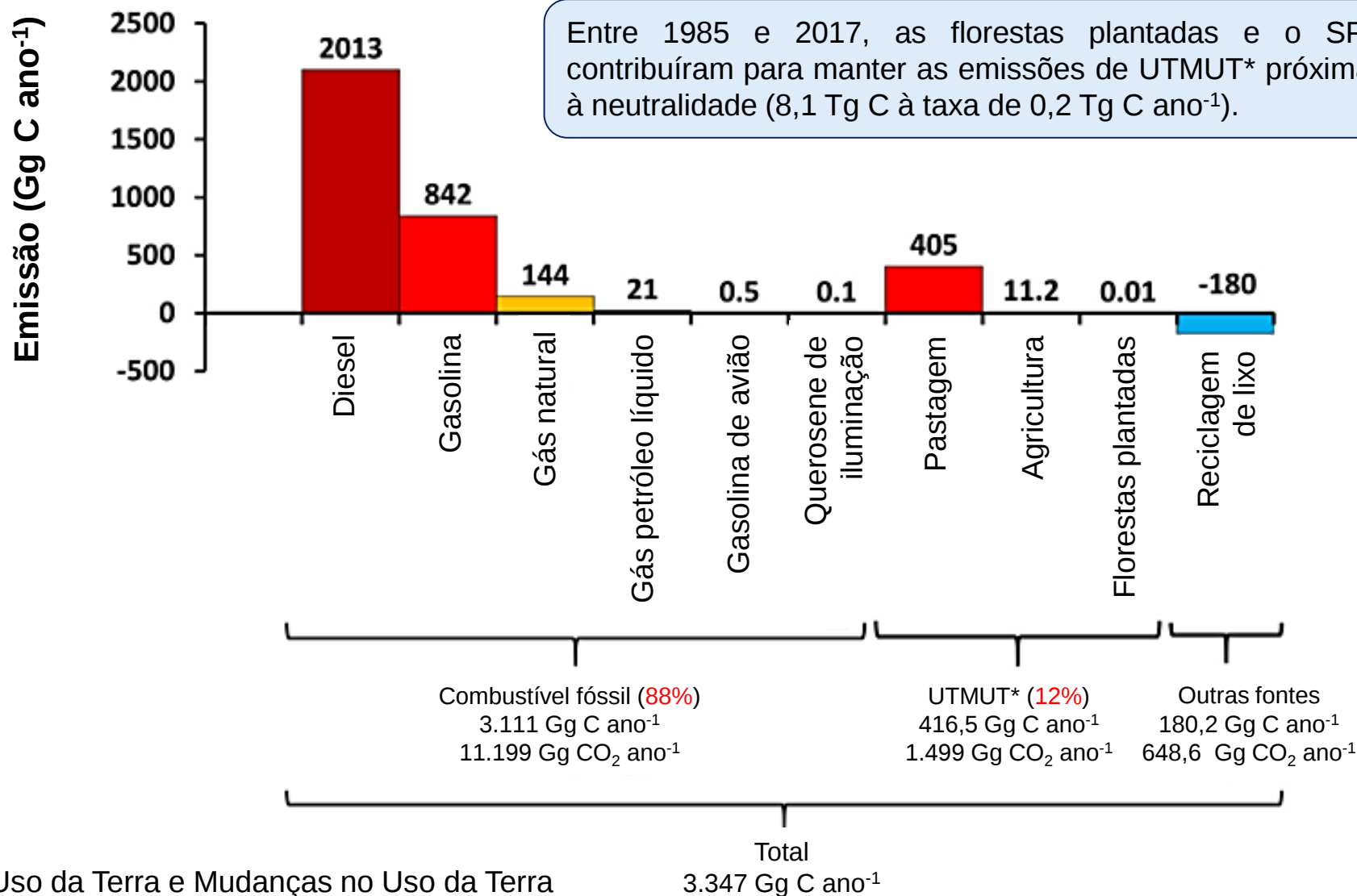


Emissões históricas de GEE pelo uso da terra e por combustíveis fósseis.

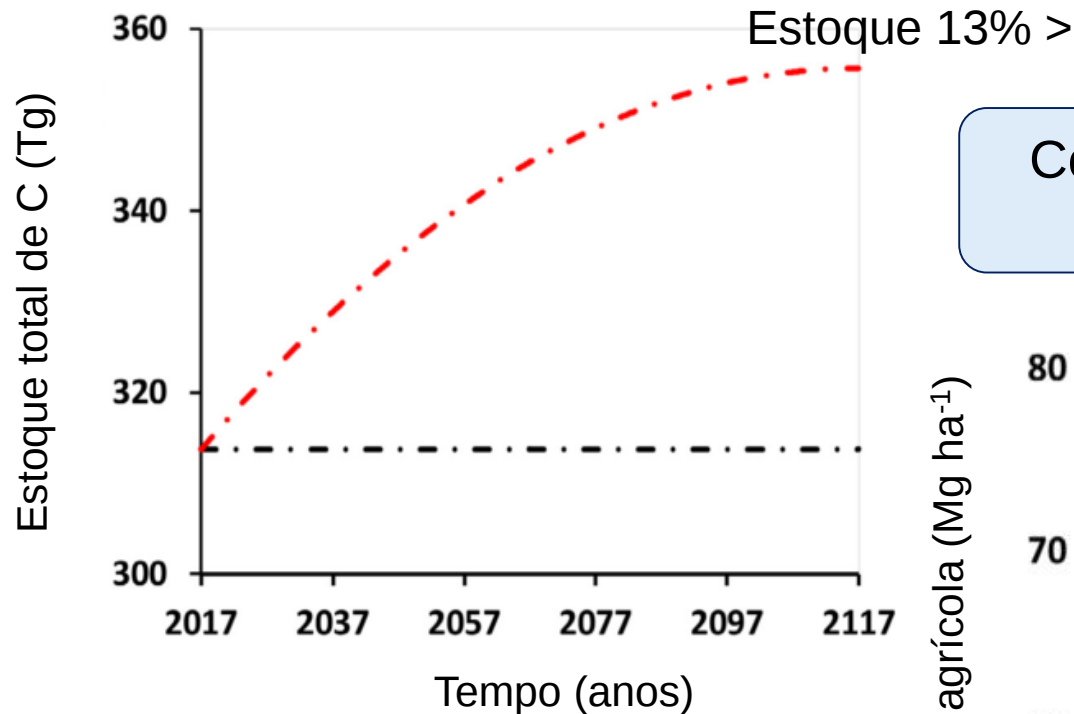


Emissões históricas de GEE por uso de combustíveis fósseis e reciclagem de lixo.

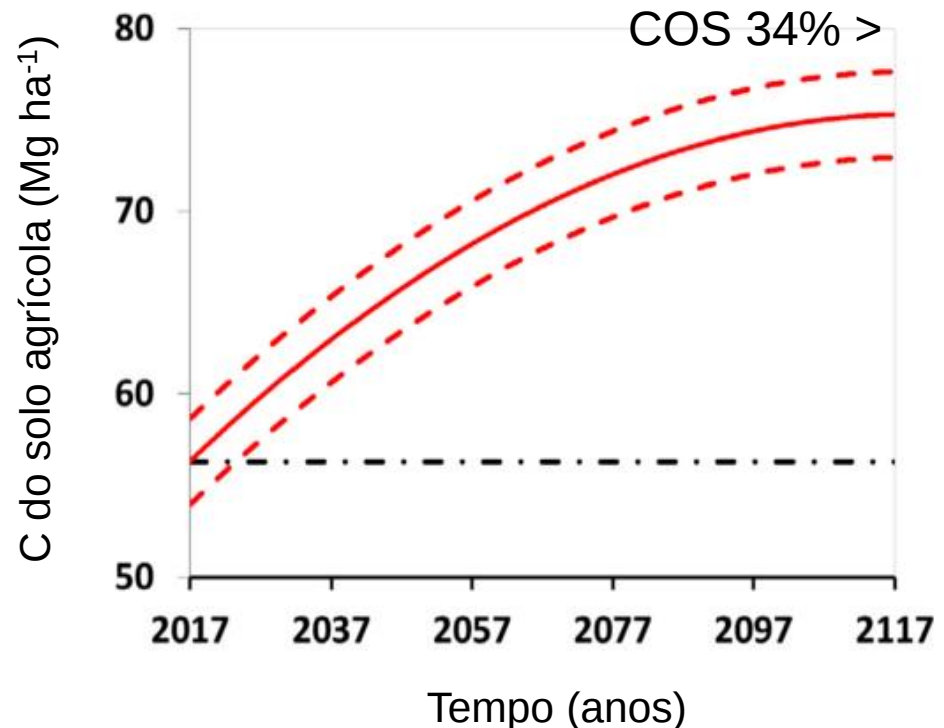
Panorama atual das emissões gerais de GEE



O potencial da agricultura para a mitigação das emissões de GEE



Considerando a adoção de um SPD de alta qualidade



A linha preta (acima) refere-se à não adoção do SPD de alta qualidade e a vermelha à adoção em 2017. As linhas tracejadas (ao lado) referem-se a intervalos de confiança de 95% para os valores previstos.

Ano	Carbono (Mg ha ⁻¹)	Área (ha)	Uso da terra				
			Vegetação nativa		Atividade econômica		
			Floresta	Pântano	Pastagem	Floresta plantada	Agricultura
			107.809	8.310	622.915	583.032	1.928.146
2017	Solo (0-20 cm)	Área (ha)	165,3 (27,2)	123,4 (24,9)	94,9 (23,3)	140,9 (23,3)	56,3 (23,3)
	Biomassa PA		89 (48)	1,9 (0,7)	2,4 (0,3)	42,62 (6,0)	2,6 (0,35)
	Biomassa S		6,3 (4,5)	1,7 (0,6)	2,1 (0,6)	-	1,0 (0,1)
	Total		260,6 (55,3)	127 (24,9)	99,4 (23,3)	183,5 (23,8)	60 (23,3)
	C total (Tg)		28,1 (6)	1,1 (0,2)	61,9 (14,5)	107 (13,9)	115,6 (44,9)
2018-2067	Solo (0-20 cm)		165,3 (27,2)	123,4 (24,9)	94,9 (23,3)	140,9 (23,3)	70,3 (26,1)
	Biomassa PA		89 (48)	1,9 (0,7)	2,4 (0,3)	42,62 (6,0)	4,5 (0,6)
	Biomassa S		6,3 (4,5)	1,7 (0,6)	2,1 (0,6)	-	1,8 (0,3)
	Total		260,6 (55,3)	127 (24,9)	99,4 (23,3)	183,5 (23,8)	76,7 (26,1)
	C total (Tg)		28,1 (6)	1,1 (0,2)	61,9 (14,5)	107 (13,9)	147,9 (50,3)
2068-2117	Solo (0-20 cm)		165,3 (27,2)	123,4 (24,9)	94,9 (23,3)	140,9 (23,3)	75,3 (26,1)
	Biomassa PA		89 (48)	1,9 (0,7)	2,4 (0,3)	42,62 (6,0)	4,5 (0,6)
	Biomassa S		6,3 (4,5)	1,7 (0,6)	2,1 (0,6)	-	1,8 (0,3)
	Total		260,6 (55,3)	127 (24,9)	99,4 (23,3)	183,5 (23,8)	81,7 (26,1)
	C total (Tg)		28,1 (6)	1,1 (0,2)	61,9 (14,5)	107 (13,9)	157,5 (50,3)

Ano	Carbono (Mg ha ⁻¹)		Uso da terra				
			Vegetação nativa		Atividade econômica		
			Floresta	Pântano	Pastagem	Floresta plantada	Agricultura
			107.809	8.310	622.915	583.032	1.928.146
2017	Solo (0-20 cm)	Área (ha)	165,3 (27,2)	123,4 (24,9)	94,9 (23,3)	140,9 (23,3)	56,3 (23,3)
	Biomassa PA		89 (48)	1,9 (0,7)	2,4 (0,3)	42,62 (6,0)	2,6 (0,35)
	Biomassa S		6,3 (4,5)	1,7 (0,6)	2,1 (0,6)	-	1,0 (0,1)
	Total		260,6 (55,3)	127 (24,9)	99,4 (23,3)	183,5 (23,8)	60 (23,3)
	C total (Tg)		28,1 (6)	1,1 (0,2)	61,9 (14,5)	107 (13,9)	115,6 (44,9)
2018-2067	Solo (0-20 cm)		165,3 (27,2)	123,4 (24,9)	94,9 (23,3)	140,9 (23,3)	70,3 (26,1)
	Biomassa PA		89 (48)	1,9 (0,7)	2,4 (0,3)	42,62 (6,0)	4,5 (0,6)
	Biomassa S		6,3 (4,5)	1,7 (0,6)	2,1 (0,6)	-	1,8 (0,3)
	Total		260,6 (55,3)	127 (24,9)	99,4 (23,3)	183,5 (23,3)	76,7 (26,1)
	C total (Tg)		28,1 (6)	1,1 (0,2)	Ganho de 41,9 Tg C		147,9 (50,3)
2068-2117	Solo (0-20 cm)		165,3 (27,2)	123,4 (24,9)	94,9 (23,3)	140,9 (23,3)	75,3 (26,1)
	Biomassa PA		89 (48)	1,9 (0,7)	2,4 (0,3)	42,62 (6,0)	4,5 (0,6)
	Biomassa S		6,3 (4,5)	1,7 (0,6)	2,1 (0,6)	-	1,8 (0,3)
	Total		260,6 (55,3)	127 (24,9)	99,4 (23,3)	183,5 (23,3)	81,7 (26,1)
	C total (Tg)		28,1 (6)	1,1 (0,2)	61,9 (14,5)	107 (13,9)	157,5 (50,3)

Ano	Carbono (Mg ha ⁻¹)	Área (ha)	Uso da terra				
			Vegetação nativa		Atividade econômica		
			Floresta	Pântano	Pastagem	Floresta plantada	Agricultura
			107.809	8.310	622.915	583.032	1.928.146
2017	Solo (0-20 cm)	Área (ha)	165,3 (27,2)	123,4 (24,9)	94,9 (23,3)	140,9 (23,3)	56,3 (23,3)
	Biomassa PA		89 (48)	1,9 (0,7)	2,4 (0,3)	42,62 (6,0)	2,6 (0,35)
	Biomassa S		6,3 (4,5)	1,7 (0,6)	2,1 (0,6)	-	1,0 (0,1)
	Total		260,6 (55,3)	127 (24,9)	99,4 (23,3)	183,5 (23,8)	60 (23,3)
	C total (Tg)		28,1 (6)	1,1 (0,2)	61,9 (14,5)	107 (13,9)	115,6 (44,9)
2018-2067	Solo (0-20 cm)		165,3 (27,2)	123,4 (24,9)	94,9 (23,3)	140,9 (23,3)	70,3 (26,1)
	Biomassa PA		89 (48)	1,9 (0,7)	2,4 (0,3)	42,62 (6,0)	4,5 (0,6)
	Biomassa S		6,3 (4,5)	1,7 (0,6)	2,1 (0,6)	-	1,8 (0,3)
	Total		260,6 (55,3)	127 (24,9)	99,4 (23,3)	183,5 (23,8)	76,7 (26,1)
	C total (Tg)		28,1 (6)	1,1 (0,2)	61,9 (14,5)	107 (13,9)	147,9 (50,3)
2068-2117	Solo (0-20 cm)		165,3 (27,2)	123,4 (24,9)	94,9 (23,3)	140,9 (23,3)	75,3 (26,1)
	Biomassa PA		89 (48)	1,9 (0,7)	2,4 (0,3)	42,62 (6,0)	4,5 (0,6)
	Biomassa S		6,3 (4,5)	1,7 (0,6)	2,1 (0,6)	-	1,8 (0,3)
	Total		260,6 (55,3)	127 (24,9)	99,4 (23,3)	183,5 (23,8)	81,7 (26,1)
	C total (Tg)		28,1 (6)	1,1 (0,2)	61,9 (14,5)	107 (13,9)	157,5 (50,3)

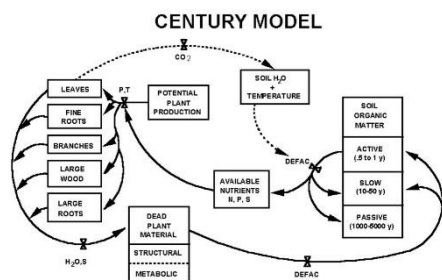
Ano	Carbono (Mg ha ⁻¹)	Área (ha)	Uso da terra				
			Vegetação nativa		Atividade econômica		
			Floresta	Pântano	Pastagem	Floresta plantada	Agricultura
			107.809	8.310	622.915	583.032	1.928.146
2017	Solo (0-20 cm)	Área (ha)	165,3 (27,2)	123,4 (24,9)	94,9 (23,3)	140,9 (23,3)	56,3 (23,3)
	Biomassa PA		89 (48)	1,9 (0,7)	2,4 (0,3)	42,62 (6,0)	2,6 (0,35)
	Biomassa S		6,3 (4,5)	1,7 (0,6)	2,1 (0,6)	-	1,0 (0,1)
	Total		260,6 (55,3)	127 (24,9)	99,4 (23,3)	183,5 (23,8)	60 (23,3)
	C total (Tg)		28,1 (6)	1,1 (0,2)	61,9 (14,5)	107 (13,9)	115,6 (44,9)
2018-2067	Solo (0-20 cm)		165,3 (27,2)	123,4 (24,9)	Ganho de 19 Mg ha ⁻¹ C		70,3 (26,1)
	Biomassa PA		89 (48)	1,9 (0,7)	2,4 (0,3)	42,62 (6,0)	4,5 (0,6)
	Biomassa S		6,3 (4,5)	1,7 (0,6)	2,1 (0,6)	-	1,8 (0,3)
	Total		260,6 (55,3)	127 (24,9)	99,4 (23,3)	183,5 (23,8)	76,7 (26,1)
	C total (Tg)		28,1 (6)	1,1 (0,2)	61,9 (14,5)	107 (13,9)	147,9 (50,3)
2068-2117	Solo (0-20 cm)		165,3 (27,2)	123,4 (24,9)	94,9 (23,3)	140,9 (23,3)	75,3 (26,1)
	Biomassa PA		89 (48)	1,9 (0,7)	2,4 (0,3)	42,62 (6,0)	4,5 (0,6)
	Biomassa S		6,3 (4,5)	1,7 (0,6)	2,1 (0,6)	-	1,8 (0,3)
	Total		260,6 (55,3)	127 (24,9)	99,4 (23,3)	183,5 (23,8)	81,7 (26,1)
	C total (Tg)		28,1 (6)	1,1 (0,2)	61,9 (14,5)	107 (13,9)	157,5 (50,3)

Análise crítica: abordagem e incertezas associadas



Os modelos de simulação da dinâmica da MOS a longo prazo (Century, DayCent e Roth-C) são limitados em relação ao conhecimento atual de:

- taxas de acúmulo de C em solos sob diferentes tipos de manejo
- capacidade limitada dos solos de estocar C
- incertezas inerentes à estrutura dos modelos



O estoque e a mineralização do COS varia conforme particularidades do solo* e do ambiente

*Características físicas, químicas, biológicas e mineralógicas.



Conclusões

- A agricultura conservacionista pode desempenhar um papel importante no fornecimento de alimentos e outros recursos para a população crescente, evitando novas mudanças no uso da terra.
- A adoção do SPD de alta qualidade em escala regional pode mitigar 11% do total de emissões históricas por uso da terra e mudanças no uso da terra, 13 anos de emissões totais e 105 anos de emissões por diferentes usos da terra.
- O desenvolvimento de novas tecnologias a partir desse “ganho de tempo” pode ajudar a reduzir ainda mais as emissões de GEE.

Obrigada!

- lais.jimenez@usp.br
- melo.marina@usp.br