

Campo Grande, MS / Novembro, 2025

Níveis de referência do carbono orgânico nos solos cultivados dos biomas brasileiros

1ª Aproximação



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Gado de Corte
Ministério da Agricultura e Pecuária***

ISSN 1983-974X

Documentos 324

Novembro, 2025

Níveis de referência do carbono orgânico nos solos cultivados dos biomas brasileiros

1ª Aproximação

*Ademir Fontana
Fabiano de Carvalho Balieiro
Falberni de Souza Costa
Guilherme Montandon Chaer
Manuel Claudio Motta Macedo
Marcos Corrêa Neves
Naylor Bastiani Perez
Rafael Sobroza Becker
Roberto Giolo de Almeida*

***Embrapa Gado de Corte
Campo Grande, MS
2025***

Embrapa Gado de Corte
Av. Rádio Maia, 830, Zona Rural
Campo Grande, MS, 79106-550
www.embrapa.br/gado-de-corte
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Karem Guimarães Xavier Meireles

Secretário-executivo

Rodrigo Carvalho Alva

Membros

Alexandre Romeiro de Araújo

Davi José Bungenstab

Fabiane Siqueira

Gilberto Romeiro de Oliveira Menezes

Luiz Orcício Fialho de Oliveira

Marcelo Castro Pereira

Mariane de Mendonça Vilela

Marta Pereira da Silva

Mateus Figueiredo Santos

Vanessa Felipe de Souza

Edição executiva

Rodrigo Carvalho Alva

Revisão de texto

Rodrigo Carvalho Alva

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Rodrigo Carvalho Alva

Foto da capa

Ademir Fontana

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Superintendência de Serviços Compartilhados

Níveis de referência do carbono orgânico nos solos cultivados dos biomas brasileiros : 1ª aproximação / Ademir Fontana ... [et al.]. - Campo Grande, MS : Embrapa Gado de Corte, 2025.

PDF (31 p.). - (Documentos / Embrapa Gado de Corte, ISSN 1983-974X ; 324).

1. Agricultura sustentável. 2. Carbono. 3. Cultivo do solo. 4. Efeito estufa. 5. Granulometria. 6. Pedologia. 7. Plantio direto. I. Fontana, Ademir. II. Balieiro, Fabiano de Carvalho. III. Costa, Falberni de Souza. IV. Chaer, Guilherme Montandon. V. Macedo, Manuel Cláudio Motta. VI. Neves, Marcos Corrêa. VII. Perez, Naylor Bastiani. VIII. Becker, Rafael Sobroza. IX. Almeida, Roberto Giolo de. X. Série.

CDD 631.4 (23. ed.).

Maria de Fátima da Cunha (CRB-1/2616)

© Embrapa 2025

Autores

Ademir Fontana

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

Fabiano de Carvalho Balieiro

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Falberni de Souza Costa

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC.

Guilherme Montandon Chaer

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência de Cultivo e Solo, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ.

Manuel Claudio Motta Macedo

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

Marcos Corrêa Neves

Engenheiro-elétrico, doutor em Sensoriamento Remoto, pesquisador Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Naylor Bastiani Perez

Engenheiro-agrônomo, doutor em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Pecuária Sul, Bajé, RS.

Rafael Sobroza Becker

Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Agrícola, professor da Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, RS.

Roberto Giolo de Almeida

Engenheiro-agrônomo, doutor em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

Sumário

APRESENTAÇÃO	7
Capítulo 1. Análise de Carbono Orgânico, Carbono Total e Granulometria do Solo	8
Introdução	8
Metodologias	8
Considerações finais	11
Referências bibliográficas	11
Capítulo 2. Níveis de referência de carbono orgânico nos solos sob vegetação natural dos biomas brasileiros	13
Introdução	13
Metodologia	13
Tabelas de referência	14
Considerações finais	16
Referências bibliográficas	16
Capítulo 3. Níveis de referência do carbono orgânico nos solos cultivados do bioma Amazônia	18
Introdução	18
Metodologia	18
Tabelas de referência	18
Considerações finais	19
Referências bibliográficas	19
Capítulo 4. Níveis de referência do carbono orgânico nos solos cultivados do bioma Cerrado	20
Introdução	20
Metodologia	20
Tabelas de referência	21
Considerações finais	21
Referências bibliográficas	21

Capítulo 5. Níveis de referência do carbono orgânico nos solos cultivados do bioma Mata Atlântica	23
Introdução	23
Metodologia	23
Tabelas de referência	24
Considerações finais	24
Referências bibliográficas	24
Capítulo 6. Níveis de referência do carbono orgânico nos solos cultivados do bioma Pampa	26
Introdução	26
Metodologia	27
Tabelas de referência	27
Considerações finais	28
Agradecimentos	28
Referências bibliográficas	28
Capítulo 7. Níveis de referência do carbono orgânico nos solos cultivados do bioma Pantanal	29
Introdução	29
Metodologia	29
Tabelas de referência	30
Considerações finais	30
Referências bibliográficas	30

APRESENTAÇÃO

A preocupação com a produção agropecuária frente às mudanças climáticas globais e da contribuição do setor nas emissões ou remoções dos Gases de Efeito Estufa (GEE) tem sido recorrente, sendo possível a exploração de mercados e negócios que valorizam os produtos com menor emissão líquida de GEE, especialmente relacionados à carne bovina.

A “agricultura de baixo carbono”, que preconiza, sobretudo, o incremento do carbono no solo está prevista nas agendas de promoção do desenvolvimento rural sustentável e políticas setoriais, como os planos ABC e ABC+, contemplando tecnologias que reconhecidamente minimizam as emissões de GEE. Com essas estratégias, é possível assegurar uma agropecuária mais adaptada – resistente e resiliente, produtiva e conservacionista, além da possibilidade de agregar valor para o produtor e em alinhamento com a agenda 4/1000.

Ao carbono do solo, ele deve ser mensurado e monitorado, sendo, para isso, necessária a definição de valores ou intervalos de valores que possam ser utilizados como referência, considerando, a diversidade de ambientes brasileiros - biomas, com variação de clima e solos, além dos sistemas produtivos, como arranjos de cultivos e culturas. Nesse sentido, o estabelecimento de valores de referência para comparações em diferentes ambientes edafoclimáticos, manejos e/ou sistemas ou arranjos de cultivo torna-se uma importante ferramenta para o setor produtivo.

Os níveis de referência propiciam além da aferição da quantidade de matéria orgânica do solo, possibilidade de inferência da qualidade do manejo e/ou cultivo praticado, assim como, na avaliação da capacidade de incremento de matéria orgânica pelos sistemas ou arranjos produtivos reconhecidamente mais conservacionistas e com menor potencial de emissão. Essa assertiva denota a influência da matéria orgânica na manutenção da qualidade do solo e, consequentemente, no potencial produtivo das culturas agrícolas.

Esses níveis têm potencial para ser aplicado em diversos programas, como as marcas-conceito

Carne Carbono Neutro, Carne Baixo Carbono, dentre outras, em fase de desenvolvimento, como o Carbono Nativo, Bezerro Baixo Carbono, Leite Baixo Carbono e Grãos como Soja/Trigo/Milho e Sorgo Baixo Carbono.

Essa publicação contempla diversos capítulos, iniciando com uma revisão e sugestão de harmonização do carbono no solo devido aos diferentes métodos de quantificação e unidades de medida, além da granulometria e classes texturais do solo (Capítulo 1). Na sequência, os níveis de referência de carbono orgânico nos solos nos biomas brasileiros por classes texturais do solo sob a vegetação natural de forma generalizada (Capítulo 2). Posteriormente a publicação trás os níveis de referência para os solos cultivados dos biomas brasileiros (Capítulos 3 ao 7), exceto, a Caatinga.

Em virtude da definição pragmática, essa proposta representa a 1ª aproximação de níveis de referência de carbono orgânico no solo em condições de cultivo dos diferentes biomas. Esta primeira aproximação contempla a proposta da camada de 0-20 cm e, com perspectivas de revisão e ampliação ao longo do tempo para outras camadas do solo, além de detalhamento do tipo de exploração agropecuária, como por exemplo, agricultura (lavoura temporária e lavoura permanente), pastagens, silvicultura e mosaico de usos como os sistemas integrados.

Este trabalho atende ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima, estipulado pelas Nações Unidas (ONU), mais especificamente à meta 13.2, que pretende integrar a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) às políticas, estratégias e planejamentos nacionais.

Antônio do Nascimento Ferreira Rosa
Chefe-Geral da Embrapa Gado de Corte

Capítulo 1. Análise de Carbono Orgânico, Carbono Total e Granulometria do Solo

Ademir Fontana

Introdução

Em função dos diversos métodos analíticos possíveis de serem praticados pelos laboratórios de análise de solo no Brasil, principalmente para o componente orgânico (carbono orgânico e matéria orgânica), apresenta-se uma revisão e expectativa de harmonização de dados obtidos por diferentes métodos de análise e unidades de medida. A leitura contribuirá como orientação para a obtenção dos detalhes junto aos laboratórios no momento do envio das amostras do solo ou quando da obtenção dos resultados.

Para o “carbono orgânico”, obtido da fração mais transformada da matéria orgânica do solo – húmus, tem-se como destaque o método de oxidação úmida - via úmida (Walkley e Black, 1934). Neste, uma amostra de solo é submetida a oxidação por uma solução de mistura de dicromato de potássio ou sódio e ácido sulfúrico, podendo, estar associado a uma fonte de calor externo (Fontana e Campos, 2017). Este método é o praticado pela maioria dos laboratórios comerciais no Brasil e está sujeito a modificações locais ou regionais.

Enquanto, outro tipo de carbono é definido como “carbono total”, o qual contabiliza o carbono presente em todas as estruturas do solo – orgânicos (vegetal - folhas, galhos, raízes, carvões e animal) e inorgânicos (carbonatos e bicarbonatos). Dentre os métodos, destaca-se a combustão seca - via seca (Método Dumas) por autoanalisadores elementares (CHN-S e TOC) e, aqueles que aplicam técnicas de detecção proximal, como a espectroscopia de infravermelho, incluindo infravermelho próximo (NIR), infravermelho visível-próximo (Vis-NIR) e infravermelho médio (MIR); espectroscopia de plasma induzida por laser (LIBS); e espalhamento inelástico de nêutron (INS), também conhecido como análise de raios gama estimulada por nêutrons ou espectroscopia (FAO, 2020).

Quanto às frações granulométricas ou granulometria, obtém-se os teores de areia, silte e argila após a dispersão de todas as frações, incluindo a orgânica, com uma solução de base forte, como o

hidróxido de sódio ou potássio. As classes texturais são obtidas pela combinação da proporção relativa de pelo menos duas das frações granulométricas.

Metodologias

Análise do carbono orgânico determinado ou estimado

As análises de carbono orgânico (Corg) e matéria orgânica (MO) são normalmente realizadas pelos laboratórios de rotina. Com isso, deve-se solicitar ao laboratório a forma de obtenção do C org ou da MO, com a descrição do método praticado e possíveis ajustes ou modificações.

A partir do método de análise do C org ou da MO, será possível harmonizar os valores, quando necessário, conforme descrito a seguir.

Carbono orgânico - determinado

Este método é definido como Walkley e Black (Walkley e Black, 1934) ou Walkley e Black modificado, em função da adição da fonte de calor externa ao método original (Fontana e Campos, 2017).

Esta análise é realizada em laboratórios que praticam métodos descritos como “métodos volumétricos ou titulométricos” e o solo medido por peso (base gravimétrica), como por exemplo no sul do Brasil (Tedesco et al., 1995); Instituto Agrônomo de Campinas – IAC (Camargo et al., 2009), Silva (2009); Embrapa Solos (Fontana e Campos, 2017).

Com uma pequena modificação, o método proposto por Tedesco et al. (1995) considera a oxidação da MO de 90% e aplica assim no cálculo um fator de 1,12. Nessa condição, para obter o teor de C org próximo aos métodos anteriores, basta dividir o teor de C org por 1,12.

Carbono orgânico - estimado pelo teor da matéria orgânica

A análise da matéria orgânica (MO) é muito praticada em laboratórios que analisam o solo para “fins de fertilidade” e seguem um dos métodos de Tedesco et al. (1995), Cantarella et al. (2001) e Silva (2009).

Esta análise é praticada em laboratórios que analisam o solo por métodos descritos como “métodos colorimétricos” e o solo medido por volume - “cachimbada” (base volumétrica).

Quando os laboratórios determinam a MO com base em Walkley e Black (1934) ou Walkley e Black modificado (Fontana e Campos, 2017), como no manual preconizado por Silva (2009), para obter o C org, basta dividir o valor da MO por 1,724.

Nos laboratórios que obtêm a MO pelo método Dakota do Sul modificado (Quaggio; Raij, 1979), como no Instituto Agrônomo de Campinas – IAC (Cantarella et al., 2001), para obter o C org, basta dividir o teor de MO por 2,28.

OBS 1: o fator 1,724 advém da composição da MO por C em média de 58% ($100/58 = 1,724$).

OBS 2: o fator 2,28 advém da composição da MO, que tem em média 58% de C ($100/58 = 1,724$) e do fator de oxidação da MO de 1,32 (oxidação parcial da MO - 76%) (Walkley e Black, 1934).

Análise do carbono total

Esta análise de maneira geral não é realizada em laboratórios de rotina. No entanto, alguns laboratórios possuem essa análise em seu portfólio. Ela é realizada por meio de autoanalisador elementar ou outros métodos, sendo o teor de carbono total obtido de forma direta e com solo medido por peso (base gravimétrica) (Fontana e Bianchi, 2017; FAO, 2020).

Como este método contempla todo o carbono presente no solo, atenção especial deve ser dada aos solos com carbonatos, bicarbonatos ou carvão. Para isso, em condições especiais, recomenda-se a apreciação para tratamento do solo que visa eliminar fontes carbonatadas com C ou mesmo as considerações sobre materiais orgânicos e inorgânicos carbonizados preconizados no Manual de Métodos de Análise de Solo (Fontana e Bianchi, 2017).

De forma alternativa, é possível estimar carbono total (C total) a partir do teor de carbono orgânico (C org). Considera-se que, em média, o método oxida cerca de 76% do C presente na MO e é necessário aplicar o fator 1,32 ao valor do C org para obter o C total (Walkley e Black, 1934).

Além disso, com intuito de melhorar a estimativa de C total, pode-se estimar o C total a partir de funções regionais ou locais, como exemplo, aquela definida em solo com o cultivo de eucalipto para a camada de 0-20 e 20-80 cm da região centro-leste do estado de Minas Gerais (Gatto et al., 2009):

$$C \text{ total} = (1,1982 \times C \text{ org}) + 0,0051$$

(camada de 0-20 cm)

$$C \text{ total} = (1,2664 \times C \text{ org}) + 0,1256$$

(camada de 20-80 cm)

Nesse mesmo sentido, Fontana et al. (2025), estimaram o C total para solos de diferentes regiões do Brasil, separando inclusive em duas camadas principais: 0-60 cm e 60 a 200 cm. Para esta estimativa

os autores excluíram os horizontes superficiais A antrópico ou Terra Preta de Índio (Amazônia).

$$C \text{ total} = (1,3326 \times C \text{ org}) + 0,7483$$

(camada de 0-60 cm)

$$C \text{ total} = (1,1884 \times C \text{ org}) + 0,5895$$

(camada de 60-200 cm)

OBS: avaliar os programas e incentivo ou mesmo as certificadoras sobre a forma alternativa de obtenção dos valores de C total.

Harmonização das unidades de medida do carbono orgânico

Nos laboratórios que determinam a MO em base volumétrica (g dm^{-3}) a partir da mensuração do solo por volume – “cachimbada”, o C org, obtido conforme descrito no item “Carbono orgânico - estimado pelo teor da matéria orgânica” também estará em base volumétrica (g dm^{-3}).

Para fazer a transformação para a base gravimétrica (peso), basta dividir o teor de C org em base volumétrica (g dm^{-3}) pela densidade do solo fino (Dsf).

$$C \text{ org (base gravimétrica)} = C \text{ org (base volumétrica)} / Dsf$$

A densidade do solo fino é obtida pela divisão da massa do solo fino seco que ocupa um volume conhecido (por exemplo, 50 cm^3 ou 50 mL).

$$Dsf = msf / vsf$$

Dsf: Densidade do solo fino (g cm^{-3}); msf: massa do solo fino (g); vsf: volume do solo fino (cm^3)

Caso não seja possível determinar a Dsf, pode-se estimar por meio de uma função que utiliza os teores de areia total ou argila do solo de cada camada, conforme proposto no trabalho de Cordeiro et al. (2020).

$$Dsf = 0,9594781 + [0,0229629 \times \exp(0,0033731 \times At)]$$

$$Dsf = 1,000383 + [0,545928 \times \exp(-0,005821 \times Ar)]$$

Dsf: Densidade do solo fino (g dm^{-3}); exp: exponencial; At: areia total (g kg^{-1}) (valor obtido em % multiplicado por 10); Ar: argila (g kg^{-1}) (valor obtido em % multiplicado por 10).

Síntese dos métodos, unidades de medida e harmonização das unidades de medida para o carbono orgânico, carbono total e matéria orgânica

Como forma de facilitar a visualização dos métodos e obtenção dos teores de C org, MO e C total,

faz-se uma síntese para cada atributo na condição de determinação em laboratório e, de sua estimativa considerando outros atributos ou fatores de conversão (Tabela 1). Enquanto, a Tabela 2 apresenta a harmonização de unidades visando a correspondência dos valores dos atributos C org e MO.

Tabela 1.1. Formas de obtenção do C org, MO e C total do solo.

Atributo	Forma de Obtenção			
	Determinado (Método)	Unidade	Estimado (Método)	Unidade
C org	Diretamente Fontana e Campos (2017) Camargo et al. (2009) Silva (2009)	% ou g kg ⁻¹	MO / 1,724 Silva (2009) Camargo et al. (2009)	% ou g dm ⁻³
	C org / 1,12 Tedesco et al. (1995)		MO / 1,93 Tedesco et al. (1995)	
			MO / 2,28 Cantarella et al. (2001)	
MO	Tedesco et al. (1995) Cantarella et al. (2001) Silva (2009) Camargo et al. (2009)	% ou g dm ⁻³	C org x 1,724 Fontana e Campos (2017) Camargo et al. (2009) Silva (2009) C org x 1,54 Tedesco et al. (1995)	% ou g kg ⁻¹
			Geral C org x 1,32 Walkley e Black (1934)	
C total		% ou g kg ⁻¹	0-20 cm (C org x 1,1982) + 0,0051 Gatto et al. (2009)	% ou g kg ⁻¹
	CHN-S; TOC LIBS NIR; Vis-NIR; MIR INS		20-80 cm (C org x 1,2664) + 0,1256 Gatto et al. (2009)	
			0-60 cm (C org x 1,3326) + 0,7483 Fontana et al. (2025)	
			60-200 cm (C org x 1,1884) + 0,5895 Fontana et al. (2025)	

C org: carbono orgânico (via úmida); MO: matéria orgânica; C total: carbono total (via seca).

Valor obtido em % deve-se avaliar o método para atender a unidade g kg⁻¹ (base gravimétrica - solo medido por peso) ou g dm⁻³ (base volumétrica - solo medido por volume ou "cachimbada").

g kg⁻¹ ou g dm⁻³: valores obtidos em % multiplicar por 10.

Tabela 1.2. Harmonização das unidades de medida do C org e MO do solo.

Atributo	Método	Forma de Obtenção	
		Determinado	Estimado
Dsf	-	$Dsf = msf / vsf$	$Dsf = 0,9594781 + [0,0229629 \times \exp(0,0033731 \times At)]$ $Dsf = 1,000383 + [0,545928 \times \exp(-0,005821 \times Ar)]$
	Solo: medido por volume - "cachimbada" (base volumétrica)	$g\ dm^{-3}$	$g\ kg^{-1}$ (C org ou MO / Dsf)
C org e MO	Solo: medido por peso (base gravimétrica)	$g\ kg^{-1}$	$g\ dm^{-3}$ (C org ou MO x Dsf)

C org: carbono orgânico; MO: matéria orgânica.

Dsf: Densidade do solo fino; msf: massa do solo fino (g); vsf: volume do solo fino (cm^3); exp: exponencial; At: areia total ($g\ kg^{-1}$) (valor obtido em % multiplicado por 10); Ar: argila ($g\ kg^{-1}$)

$g\ kg^{-1}$ ou $g\ dm^{-3}$: valores obtidos em % multiplicar por 10.

Análise das frações granulométricas e obtenção das classes texturais

As frações granulométricas correspondem aos teores totais de areia (diâmetro de 2 - 0,053 mm), silte (diâmetro de 0,053 a 0,002 mm) e argila (diâmetro < 0,002 mm) obtidos após a dispersão de todos os constituintes do solo com solução de base

forte como o hidróxido de sódio ou potássio. Mais detalhes podem ser obtidos no Manual de Métodos de Análise de Solo (Donagemma et al., 2017).

A partir dos teores das frações granulométricas, é obtido o grupamento textural ou classe textural (Tabela 3) pela combinação de pelo menos duas frações conforme proposto no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos et al., 2025).

Tabela 1.3. Teores das frações granulométricas para obtenção dos grupamentos texturais.

Classe Textural	Areia Total	Argila	Areia Total - Argila
	----- $g\ kg^{-1}$ -----		
Arenosa	-	-	> 700
Média	> 150	< 350	-
Argilosa	-	$\geq 350 \leq 600$	-
Muito Argilosa	-	> 600	-
Siltosa	≤ 150	< 350	-

Valores obtidos em % multiplicar por 10 para obter em $g\ kg^{-1}$.

Considerações finais

No momento do envio de amostras de solo deve-se avaliar ao método de análise utilizado pelo laboratório para garantir o enquadramento adequado e/ou a necessidade de transformações dos valores.

Referências bibliográficas

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de Análise Química,**

Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas, Instituto Agrônomo, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada).

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; van Raij, B. **Determinação da matéria orgânica.** In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. *Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais.* Campinas, Instituto Agrônomo, Cap. 9, p. 173-180. 2001.

CORDEIRO, F. R.; CESÁRIO, F. V.; FONTANA, A.; ANJOS, L. H. C. dos; CANTO, A. C. B. do; TEIXEIRA, W. G. Pedotransfer functions: the role of soil chemical properties units conversion for soil classification. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0190086, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190086>.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA, B. G. de; RUIZ, H. A.; KLEIN, V. A.; DECHEN, S. C. F.; FERNANDES, R. B. A. **Análise granulométrica**. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 1, cap. 10, p. 95-116. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/172279/1/Pt-1-Cap-10-Analise-granulometrica.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2024.

FAO. **A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes: GSOC-MRV protocol**. Rome, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb0509en>.

FONTANA, A.; CAMPOS, D. V. B. de. **Carbono orgânico**. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 360-367. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/194453/1/Pt-3-Cap-1-Carbono-organico.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2024.

FONTANA, A.; BIANCHI, S. R. Carbono e nitrogênio total: analisador elementar. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 3, cap. 4, p. 393-396. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/194460/1/Pt-3-Cap-4-Carbono-e-nitrogenio-total.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2024.

FONTANA, A.; BALIEIRO, F. C.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F. **Funções para predição do carbono total e estoque de carbono em perfis da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**. In: LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G.; SANTOS, L. A. C.

dos; RODRIGUES, M. R. L.; SANTOS- MENDONÇA, M. de L. editores técnicos. **Guia de campo da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC das várzeas do médio Rio Amazonas e entorno**. Brasília, DF: Embrapa, 2025. p.167-259. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1178898/guia-de-campo-da-xv-reuniao-brasileira-de-classificacao-e-correlacao-de-solos-rcc-das-varzeas-do-medio-rio-amazonas-e-entorno>. Acesso em 17 out. 2025.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. Comparação de métodos rápidos para a determinação da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, p. 184-187, 1979.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 6. ed., rev. e ampl. Brasília, Embrapa, 2025. 393 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1176834/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 14 julho 2025.

SILVA, F. C da. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. 2ª ed. ver. e ampl. Brasília: Embrapa. 2009; 628p.

TEDESCO J. M.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEM, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, n. 1, p. 29-38, Jan. 1934. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>.

Capítulo 2. Níveis de referência de carbono orgânico nos solos sob vegetação natural dos biomas brasileiros

Ademir Fontana

Introdução

A preocupação com as mudanças climáticas globais – aquecimento global, influenciadas pelas ações humanas nas emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE), especialmente do dióxido de carbono (CO₂), desperta interesses e necessidades sobre a capacidade de mitigação e adaptação dos ecossistemas do planeta terra, com destaque para a produção agropecuária.

Grande parte do carbono (C) proveniente do CO₂ atmosférico incorporado às plantas nos diferentes compartimentos (raízes, galhos, folhas, etc.) durante o processo de fotossíntese, e ao ser depositado no solo passa a permanecer por dias, séculos e até milênios (Olson et al., 2014) e por esse motivo é creditado os maiores estoques de C nos ecossistemas terrestres (Lal, 2004; Don et al., 2024; Cerri et al., 2025).

Por essa condição, os solos dos sistemas agropecuários e sob vegetação nativa, podem contribuir com o sequestro e consequentemente com o estoque de C, desde que, sejam preconizadas práticas com estratégias que regulam a quantidade aportada e a intensidade da decomposição dos resíduos orgânicos (Don et al., 2011; Sá et al., 2014; 2025; Wiesmeier et al., 2019; Wittwer et al., 2021; Lal, 2022; Balieiro et al., 2024; Medeiros et al., 2025; Souza et al., 2025).

Para atender a esta expectativa, os teores de matéria orgânica (MO) ou carbono orgânico (C org) no solo sob vegetação natural são utilizados como indicadores da manutenção ou do acúmulo da MO. Tais parâmetros tem grande confiabilidade e sensibilidade às mudanças do uso da terra, sendo consideradas essenciais para a comparação dos teores de C do solo das áreas cultivadas com áreas de vegetação natural em cada bioma e muito utilizadas como fator de conversão de uso para sistemas de produção agropecuários (Fontana et al., 2024).

No Brasil, a avaliação quali-quantitativa do C org ou MO com base nos níveis baixo, médio e alto está proposta nas condições de vegetação natural para

diferentes camadas até 40 cm de profundidade e classes texturais de todos os biomas (Fontana et al., 2024).

Metodologia

Definição dos biomas brasileiros

Os biomas representam uma unidade geográfica e biológica delimitada com base em características naturais em comum, sendo algumas delas: vegetação, composição da fauna e da flora, clima, relevo e solo. No Brasil, os biomas são: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal (IBGE, 2025; Curi et al., 2017; Schaefer et al., 2023).

Amazônia: clima equatorial - quente e úmido com chuvas bem distribuídas, elevada biodiversidade, elevada produção primária bruta, com paisagens de planícies até montanhas, solos altamente intemperizados, ocupando o norte e noroeste do país.

Caatinga: clima semiárido, baixa produção primária, paisagens de morros e serras com chapadas, solos pouco profundos e pedregosos, ocupando a região nordeste do país.

Cerrado: clima tropical – sazonal (período seco no inverno e úmido no verão), “savana brasileira”, alta biodiversidade, paisagens de planaltos com chapadas, solos intemperizados e profundos, porém com abundância concreções – cascalhos (nomes comuns: canga, laterita, piçarra, couraça ou cara-paça), conecta todos os biomas pelo centro do país.

Mata Atlântica: clima tropical – úmido com chuvas bem distribuídas, grande diversidade de espécies, paisagens de planícies até montanhas, solos com profundidade e intemperismo variado com camada superficial espessa, na costa desde o sul até o nordeste do país.

Pampa: clima subtropical – temperado (invernos frios e verões quentes), paisagens como campos abertos (planícies a serras), solos rasos e pouco intemperizados, ocorre no extremo sul do país.

Pantanal: clima tropical - quente e úmido, planície alagável com salinas no interior, alta biodiversidade, solos rasos e arenosos ou siltosos, paisagens com planícies e elevações suaves (nomes locais: capões e cordilheiras), ocupa o oeste do país.

Levantamento dos dados do solo e cobertura vegetal

Organização dos dados de solo

Foram buscados dados de granulometria (areia, silte e argila) e carbono orgânico (C org) de

horizontes em perfis de solo sob vegetação natural. Os dados foram obtidos do Sistema de Informação de Solos Brasileiros – BDSOLOS (Embrapa, 2022).

Foi organizada uma planilha com os horizontes minerais superficiais (A) e subsuperficiais (E, B, C e F), sendo excluídos, os horizontes orgânicos (O e H) (teor de C org $\geq 80,0$ g kg⁻¹) (Fontana et al., 2024).

Adequação dos dados em horizontes para camadas do solo

Os teores de C org e frações granulométricas foram determinados em amostras de solo coletadas com espessuras variadas pelos horizontes genéticos (definidos por características morfológicas – cor, estrutura e consistência).

Desta forma, a partir das espessuras dos horizontes, foi efetuado a adequação para a camada padrão de 0-20 cm (Fontana et al., 2024).

$$\text{C org ou Fração Granulométrica} = (\text{Atributo} \times \text{EsHorX} + \text{Atributo} \times \text{EsHorXn}) / \text{EsTC}$$

Onde: *EsHorX*: espessura do horizonte que contribui para a camada de interesse; *EsCT*: espessura total da camada de interesse.

Definição da condição de uso do solo

Foi estabelecida de acordo com as classes de vegetação Floresta e Formação Natural não Florestal (MapBiomias, 2025). Quando da descrição sob capoeira e sem uso, optou-se pela definição como Vegetação Natural.

Na ausência do bioma como informação do perfil de solo, a designação foi dada a partir da localização do perfil ou município, conforme da delimitação dos biomas brasileiros (IBGE, 2024).

Obtenção dos teores de carbono orgânico e das classes texturais do solo

Carbono orgânico (C org)

O teor de C org foi obtido pelo método de oxidação por dicromato (via úmida) proposto por Walkley e Black (1934) ou por método Walkley e Black modificado, que incluiu a adição da fonte de calor externa (Fontana e Campos, 2017). Para maiores informações buscar no Capítulo 1 desta publicação.

Classes texturais

Foram obtidas as classes texturais: arenosa, média, argilosa, muito argilosa e siltosa. Para maiores informações buscar no Capítulo 1 desta publicação.

Estabelecimento dos níveis de referência do carbono orgânico do solo

Como fonte para os valores limites de cada nível do C org, foi adaptado da publicação ampla com diversas camadas do estudo de Fontana et al. (2024).

Os níveis de C org em cada classe textural com dados disponíveis e suficientes foram estabelecidos da seguinte forma (Fontana et al., 2024):

nível baixo: valor da mediana diminuído de metade do valor da mediana;

nível alto: valor da mediana somado de metade do valor da mediana;

nível médio: valores limites dos níveis baixo e alto.

Todos os valores limites dos níveis foram arredondados, considerando, para cima os teores com valor com decimal de 0,5 ou mais (Ex., 5,5 ou mais, o valor foi para 6,0).

Tabelas de referência

No total, foram compilados dados de 1.760 locais ou pontos de avaliação do solo, sendo distribuído de forma diferenciada nos biomas: 870 no bioma Amazônia, 376 no bioma Cerrado, 87 no bioma Caatinga, 316 no bioma Mata Atlântica, 21 no bioma Pampa e 90 no bioma Pantanal.

Em detrimento da quantidade mínima de dados para o estabelecimento dos três níveis (baixo, médio e alto) para cada classe textural, são previstos os níveis nas seguintes texturas em cada bioma: Amazônia: todas as classes texturais; Caatinga e Pantanal: arenosa, média e argilosa; Cerrado e Mata Atlântica: textura arenosa, média, argilosa e muito argilosa (Tabela 1). Para o bioma Pampa, pela pouca quantidade de dados é apresentado níveis generalizados independentemente das classes texturais (Tabela 2.1).

Os valores limites dos três níveis (baixo, médio e alto) aumentam da textura arenosa para a muito argilosa em todos os biomas e que pode ser avaliado e destacado pela correlação entre esses atributos. Para a textura siltosa, os valores ficam semelhantes àqueles da textura média. Os teores de carbono orgânico (C org) se correlacionam aos teores de argila com os seguintes valores: Amazônia (0,29), Caatinga (0,29), Cerrado (0,53), Mata Atlântica (0,82), Pampa (0,53) e Pantanal (0,49) (Fontana et al., 2024).

Quanto ao padrão de aumento dos valores limites dos níveis em cada bioma, ocorrem de forma expressiva a partir da textura média no Cerrado e Pantanal, a partir da argilosa na Caatinga e Mata Atlântica, e de forma suave na Amazônia.

Tabela 2.1. Níveis de C org (g kg⁻¹) na camada de 0-20 cm e classes texturais no solo sob vegetação natural dos biomas brasileiros.

Textura	Amazônia		
	Baixo	Médio	Alto
Arenosa	< 4,0	4,0-12,0	> 12,0
Média	< 6,0	6,0-18,0	> 18,0
Argilosa	< 8,0	8,0-23,0	> 23,0
Muito Argilosa	< 9,0	9,0-27,0	> 27,0
Siltosa	< 7,0	7,0-19,0	> 19,0
Textura	Caatinga		
	Baixo	Médio	Alto
Arenosa	< 3,0	3,0-9,0	> 9,0
Média	< 4,0	4,0-12,0	> 12,0
Argilosa	< 7,0	7,0-22,0	> 22,0
Textura	Cerrado		
	Baixo	Médio	Alto
Arenosa	< 2,0	2,0-7,0	> 7,0
Média	< 4,0	4,0-15,0	> 15,0
Argilosa	< 7,0	7,0-23,0	> 23,0
Muito Argilosa	< 11,0	11,0-30,0	> 30,0
Textura	Mata Atlântica		
	Baixo	Médio	Alto
Arenosa	< 4,0	4,0-13,0	> 13,0
Média	< 6,0	6,0-17,0	> 17,0
Argilosa	< 10,0	10,0-30,0	> 30,0
Muito Argilosa	< 12,0	12,0-36,0	> 36,0
Textura	Pantanal		
	Baixo	Médio	Alto
Arenosa	< 2,0	2,0-6,0	> 6,0
Média	< 6,0	6,0-19,0	> 19,0
Argilosa	< 9,0	9,0-27,0	> 27,0
Textura	Pampa		
	Baixo	Médio	Alto
-	< 8,0	8,0-22,0	> 22,0

Fonte: Adaptado de Fontana et al. (2024).

Valores obtidos em % multiplicar por 10 para obter em g kg⁻¹.

Ler o Capítulo 1 devido a variação dos métodos.

Considerações finais

Os níveis de carbono orgânico em solos sob vegetação natural podem ser utilizados como orientador para o monitoramento da influência dos cultivos e das práticas e/ou manejo na matéria orgânica nos solos em condição de ausência de outros valores de referência.

Referências bibliográficas

- BALIEIRO, F. C.; PEREIRA, H. S.; LOYOLA, R.; TONIN, A. M.; AUGUSTO, D. C. C.; MELO, F. P. L.; MAIA, J. L. S.; UGUEN, K.; MONTEIRO, M. M.; VIEIRA, R. R. S.; BARBIERI, R. L.; ALFAIA, S. S. Conciliando a agricultura e a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. In: PRADO, R. B.; OVERBECK, G. E.; GRACO-ROZA, C.; MOREIRA, R. A.; MONTEIRO, M. M.; DUARTE, G. T. org. **Relatório Temático sobre Agricultura, Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos. Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (BPBES)**. 1ª Ed. Campinas: 2024. p.99-131. <http://doi.org/10.4322/978-65-01-21502-0.cap04>
- CERRI, C. E. P.; CHERUBIN, M. R.; VILLELA, J. M.; LOCATELLI, J. L.; CARVALHO, M. L.; VILLARREAL F.; CASTRO MELLO, F. F.; IBRAHIM, M. A.; LAL, R. Carbon farming in the living soils of the Americas. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 8, e481005. 2024. DOI: 10.3389/fsufs.2024.1481005.
- CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. editores. **Pedologia – solos dos biomas brasileiros**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. 597p.
- DON, A.; JSCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis. **Global Change Biology**, v. 17, p. 1658–1670, 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x.
- DON, A.; SEIDEL, F.; LEIFELD, J.; KÄTTERER, T.; MARTIN, M.; PELLERIN, S.; EMDE, D.; SEITZ, D.; CHENU, C. Carbon sequestration in soils and climate change mitigation-Definitions and pitfalls. **Global Change Biology**. v. 30, e16983, 2024 doi.org/10.1111/gcb.16983.
- EMBRAPA. **Sistema de Informação de Solos Brasileiros: BdSolos**. Disponível em: <http://www.bdsolos.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 5 set. 2022.
- FONTANA, A.; CAMPOS, D. V. B. de. **Carbono orgânico**. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017, p. 360-367. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/194453/1/Pt-3-Cap-1-Carbono-organico.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2024.
- FONTANA, A.; VIVIAN, A. M.; ARCO, M. A. L.; MENEZES, A. R.; SANTOS, B. V.; CLEMENTE, E. P. **Níveis de referência do carbono orgânico no solo sob vegetação natural dos biomas brasileiros**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2024, 9. (Embrapa Gado de Corte, 059). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1173872/niveis-de-referencia-de-carbono-organico-no-solo-sob-vegetacao-natural-dos-biomas-brasileiros>. Acesso: 02 set. 2025.
- IBGE. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil - 1:250.000**. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/15842-biomas.html>. Acesso em: 14 julho. 2025.
- IBGE. **Síntese Descrição Biomas**. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/biomas/documentos/Sintese_Descricao_Biomas.pdf. Acesso em: 14 julho. 2025.
- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, p. 1–22. 2004. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.01.032.
- LAL, R. Reducing carbon footprints of agriculture and food systems. **Carbon Footprints**, p. 1, 3. 2022. DOI:10.20517/cf.2022.05.
- MAPBIOMAS. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 14 julho. 2025.
- MEDEIROS, A. S.; CESÁRIO, F. V.; SANTOS, T. C.; MAIA, S. M. F. Differences in the storage of soil organic carbon in Brazil's agricultural land: A meta-analysis. **Catena**, v. 249, 108680, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108680>.
- OLSON, K. R.; AL-KAISI, M. M.; LAL, R.; LOWERY, B. Experimental consideration, treatments, and methods in determining soil organic carbon sequestration rates. **Soil Science Society of American Journal**, v. 78, 348. 2014. DOI: doi.org/10.2136/sssaj2013.09.0412
- SÁ, J. C. M.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; SANTOS, J. Z.; SANTOS, J. B. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil Tillage Research**. v. 136, p. 38–50. 2014. DOI: doi.org/10.1016/j.still.2013.09.010
- SÁ, J. C. M.; LAL, R.; LORENZ, K.; BAJGAI, Y.; GAVILAN, C.; KAPOOR, M.; FERREIRA, A. O.; BRIEDIS, C.; INAGAKI, T. M.; CANALLI, L. B.; GONÇALVES, D. R. P.; BORTOLUZZI, J. K. No-till systems restore soil organic carbon stock in Brazilian biomes and contribute to the climate solution. **Science of The Total Environment**, v. 977, 179370, 2025. DOI: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179370.

SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; FRANCELINO, M. R.; CORRÊA, G. R.; OLIVEIRA, F. S.; KER, J. C. **The soil regions: a framework or stratifying the Brazilian soils**. In: SCHAEFER, C. E. G. R. ed. *The soils of Brazil*. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland. 2023. p. 71-84.

SOUZA, C. B. S.; SILVA FARIAS, P. G.; ROSSET, J. S.; SCHIAVO, J. A.; OZÓRIO, J. M. B.; OLIVEIRA, N. S.; COELHO, R. S.; TOMAZI, M.; SALTON, J. C. Soil Quality and CO₂ Emissions in Response to Six Years of Conventional and Integrated Agricultural Production in the Central-West Region of Brazil. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, p. 3954–3970, 2025. DOI: doi.org/10.1007/s42729-025-02377-0.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A. DE; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 6. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 393 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1176834/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 14 julho 2025.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222588/1/Cerrado-Correcao-solo-adubacao-ed-02-8a-impressao-2017.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2024.

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 1997. 247 p.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, n. 1, p. 29-38, 1934. DOI: doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003.

WIESMEIER, M.; URBANSKI, L.; HOBLEY, E.; LANG, B.; VON LÜTZOW, M.; MARIN-SPIOTTA, E.; VAN WESEMAEL, B.; RABOT, E.; LIEß, M.; GARCIA-FRANCO, N.; WOLLSCHLÄGER, U.; VOGEL, H.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil organic carbon storage as a key function of soils - a review of drivers and indicators at various scales. **Geoderma**, v. 333, p. 149-162. 2019. DOI: doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.026.

WITTEWER, R. A.; BENDER, S. F.; HARTMAN, K.; HYDBOM, S.; LIMA, R. A. A.; LOAIZA, V.; NEMECEK, T.; OEHL, F.; OLSSON, P. A.; PETCHEY, O.; PRECHSL, U. E.; SCHLAEPPI, K.; SCHOLTEN, T.; SEITZ, S.; SIX, J.; Van DER HEIJDEN, M. G. A. Organic and conservation agriculture promote ecosystem multifunctionality. **Science Advanced**, v. 7, 34. 2021. DOI: 10.1126/sciadv.abg6995.

Capítulo 3. Níveis de referência do carbono orgânico nos solos cultivados do bioma Amazônia

Falberni de Souza Costa

Introdução

A mudança do uso das terras da Amazônia brasileira foi iniciada no século XVI (anos de 1700), contudo, ocorreu com maior intensidade a partir dos anos de 1960 (Homma, 2003; Filho et al., 2023). Vários modelos de ocupação foram testados, na busca de aproximar a condição local de vegetação, clima e solos aos novos e diferentes usos das terras. Atualmente a cobertura do bioma Amazônia é de 78% de florestas e 15% de terras que são utilizadas com agropecuária, sendo destes 15%, 87% com pastagem, 12% com agricultura e 1% com silvicultura (MapBiomias, 2025).

Avanços tecnológicos ocorreram ao longo dos 65 anos (1960-2025) de modificação do uso da terra no bioma, que consideraram, e consideram cada vez mais, as comunidades locais e seus produtos extrativos, agropecuários e florestais, na perspectiva do desenvolvimento baseado em processos aliados às condições locais e sistemas de produção baseados na natureza e lastreados na ciência.

Os solos da Amazônia são heterogêneos devido à presença de diferentes materiais de origem e condições bioclimáticas (Quesada et al., 2009; Sombroek, 1966; Radam, 1976), fatores estes distribuídos de forma diferente nos quadrantes Norte-Sul e Leste-Oeste e suas transições. Por exemplo, nas áreas ocidentais próximas à cordilheira dos Andes e nas margens sul e norte da Amazônia, os solos são menos intemperizados (pouco desenvolvidos), enquanto, as áreas centrais e orientais da Amazônia os solos mais intemperizados, o que pode caracterizar maior profundidade e menores teores de nutrientes.

Em termos de posição no relevo ou paisagem, os solos da Amazônia são agrupados em solos de terra firme e de planícies inundadas. Em geral, os solos da Amazônia são ácidos, de baixa fertilidade química e baixa capacidade de retenção e troca de nutrientes conferidos por minerais na argila de baixa atividade como a caulinita e óxidos de ferro e alumínio (Quesada et al., 2009; Oliveira et al., 2025).

Metodologia

Levantamento dos dados do solo e cobertura vegetal

Organização dos dados de solo

Para obter dados de granulometria e carbono de solos do bioma Amazônia foram realizadas pesquisas na “Web of Science”, com palavras chaves Amazônia, Brasil, solos cultivados e camada.

Definição da condição de uso do solo

Foram definidos os usos do solo com agricultura (cultivos anuais, semiperenes e perenes), pastagem (diversos manejos e intensidade de pastejo), sistemas agroflorestais, e áreas abandonadas após degradação.

Determinação do carbono orgânico e das classes texturais do solo

Carbono orgânico (C org)

O teor de C org foi obtido pelo método de oxidação por dicromato (via úmida) proposto por Walkley e Black (1934) ou por método modificado (Walkley e Black modificado), que incluiu a adição da fonte de calor externa (Fontana e Campos, 2017). Para maiores informações buscar no Capítulo 1 desta publicação.

Classes texturais

Foram obtidas as classes texturais: arenosa, média, argilosa, muito argilosa e siltosa. Para maiores informações buscar no Capítulo 1 desta publicação.

Estabelecimento dos níveis de referência do carbono orgânico do solo

Os níveis de C org em cada classe textural com dados disponíveis e suficientes foram estabelecidos da seguinte forma (Fontana et al., 2024):

nível baixo: valor da mediana diminuído de metade do valor da mediana;

nível alto: valor da mediana somado de metade do valor da mediana;

nível médio: valores limites dos níveis baixo e alto.

Todos os valores limites dos níveis foram arredondados, considerando, para cima os teores com valor com decimal de 0,5 ou mais (Ex., 5,5 ou mais, o valor foi para 6,0).

Tabelas de referência

Os teores de C org aumentam em função do teor de argila com uma tendência não linear (Figura 3.1). Esta variação e especialmente nos maiores teores de argila sugere a união das classes texturais argilosa e muito argilosa para a definição dos níveis de C org.

Diante dessas observações, é proposto níveis de referência de C org unindo as classes texturais argilosa e muito argilosa (Tabela 3.1). Os valores de C org estão entre 1,0 g kg⁻¹ para ao nível baixo na textura arenosa até 40,0 g kg⁻¹ no nível alto na textura argilosa e muito argilosa.

Para essa região, assim como para o Pantanal que será apresentado a seguir, não há valores de referência propostos para solos cultivados nos manuais de interpretação de análises de solo e/ou em qualquer outra publicação técnico-científica.

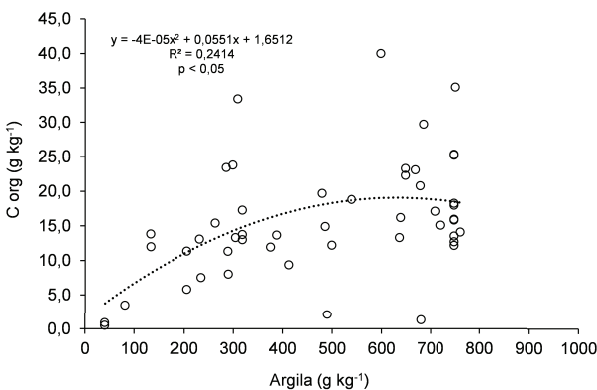


Figura 3.1. Relação entre os teores de C org e argila na camada de 0-20 cm do solo no bioma Amazônia.

Tabela 3.1. Níveis de C org (g kg⁻¹) na camada de 0-20 cm e classes texturais no solo cultivado do bioma Amazônia.

Textura	Baixo	Médio	Alto
Arenosa	< 1,0	1,0-14,0	> 14,0
Média	< 11,0	11,0-33,0	> 33,0
Argilosa e Muito Argilosa	< 14,0	14,0-40,0	> 40,0
Siltosa	< 13,0	13,0-15,0	> 15,0

Valores obtidos em % multiplicar por 10 para obter em g kg⁻¹. Ler o Capítulo 1 devido a variação dos métodos.

Considerações finais

Os níveis de referência de carbono orgânico nos solos cultivados da Amazônia seguem tendência de acréscimo da textura arenosa para muito argilosa. O menor intemperismo e a presença de elevados teores de silte nos solos do sudoeste da Amazônia conferem condições específicas e distintas que devem ser consideradas em avaliações do potencial de acúmulo de carbono.

Referências bibliográficas

- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SC. 19 Rio Branco: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1976. 464 p.
- CUNHA, G. O. M.; ALMEIDA, J. A.; BARBOZA, B. B. Relação entre o alumínio extraível com KCL e oxalato de amônio e a mineralogia da fração argila, em solos ácidos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 38, p. 1387-1401, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500004>.
- FILHO, P. G. C.; SOUZA, D. T.; MARTINHO, P. R. R.; SOUZA, M. O. Evolução da agropecuária da Amazônia Brasileira. **Revista de Política Agrícola**, v. 3, p.51-68, 2023. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1158485/evolucao-da-agropecuaria-da-amazonia-brasileira>
- GAMA, J. R. N. F.; KUSABA, T.; OTA, T.; AMANO, Y. Influência de material vulcânico em alguns solos do Estado do Acre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 103-106, 1992.
- HOMMA, A. K. O. **História da agricultura na Amazônia: da era pré-colombiana ao terceiro milênio**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 274p.
- MAPBIOMAS. Cobertura e uso da terra do Brasil: Amazônia. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2025/08/MBI-infograficos-amazonia-10-BR-scaled.jpg>. Acesso em: 11/06/2025
- OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; LIMA, H. N.; SANTOS, L. A. C. dos; OLIVEIRA, JÚNIOR, R. C. de; RODRIGUES, M. R. L.; MARTINS, G. C.; MACEDO, J. L. V. de; TEIXEIRA, W. G.; CALDERANO, S. B. **Solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**. In: LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G.; SANTOS, L. A. C. dos; RODRIGUES, M. R. L.; SANTOS- MENDONÇA, M. L. editores técnicos. Guia de campo da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC das várzeas do médio Rio Amazonas e entorno. Brasília, DF: Embrapa, 2025. p.167-259. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1178898/guia-de-campo-da-xv-reuniao-brasileira-de-classificacao-e-correlacao-de-solos-rcc-das-varzeas-do-medio-rio-amazonas-e-entorno>.
- QUESADA, C. A.; LOYD, J.; ANDERSON, L. O.; FYLLAS, N. M.; SCHWARZ, M.; CZIMCZIK, E. C. I. Soils of Amazonia with particular reference to the rainfor sites. **Biogeosciences**, v. 6, p.3851-3921, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-8-1415-2011>.
- SOMBROEK, W. G. **Amazon soils: a reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region**. Centre for Agricultural Publications and Documentation, Wageningen, Netherlands, 1966. 303 p.

Capítulo 4. Níveis de referência do carbono orgânico nos solos cultivados do bioma Cerrado

Manuel Claudio Motta Macedo
Ademir Fontana

Introdução

O bioma Cerrado tem a ocupação agrícola intensificada a partir da década de 1970, transformando o bioma em um importante celeiro de grãos e carne para o país e para o mundo. Até meados de 1960, a ocupação esparsa do Cerrado era dominada pela pecuária de subsistência, baseada no uso de pastagens nativas. Havia um paradigma de que os solos ácidos, profundos e com baixa fertilidade não eram aptos para a implantação de agricultura de rentabilidade (Sano, 2019).

Com os estudos e pesquisas com correção do solo e adubação, seguido da modernização da agricultura, com máquinas, equipamentos, insumos, melhoramento genético e práticas agrícolas, impulsionada por políticas públicas, foi possível expandir a fronteira agrícola (Sano, 2019). Predominam no bioma Cerrado as culturas de grãos como soja e milho, contempla ainda o algodão, café, cana-de-açúcar e feijão, além da produção de frutas como melancia, manga e abacaxi e, a pecuária de corte com pastagens de gramíneas como as do gênero *Brachiaria* e *Panicum*. A soja predomina em 1ª safra, seguido de milho e algodão como 2ª safra. Muitas áreas são destinadas em 2ª safra ou mesmo 3ª safra com pastagem para pecuária de corte.

Atualmente, os cultivos que envolvem arranjos de culturas de forma integrada têm ocupado áreas de pastagens pouco produtivas ou mesmo aquelas de grãos no sistema de pousio, associados às práticas preconizadas pelo sistema plantio direto. Com essas práticas é possível ampliar as condições de exploração das terras diante das condições de variação de clima com janela mais estreita para semeadura (atraso no início das chuvas), veranicos ou mesmo estiagens.

Os solos em geral são muito desenvolvidos – bastante profundos, com predomínio de na

superfície da textura arenosa e média e, em sub-superfície a argilosa e muito argilosa. Predominam solos com aumento gradativo de argila, seguido daqueles de textura arenosa, média e argilosa em todo o perfil, e, aqueles, com o aumento da quantidade de argila em subsuperfície (textura argilosa ou muito argilosa), proporcionando um expressivo gradiente textural (variação de textura da superfície para a subsuperfície). Também se destacam solos com abundância de concreções – cascalhos (nomes comuns: canga, laterita, piçarra, couraça ou carapaça). A acidez alta e quantidade de nutrientes baixa levam a necessidade de calagem e adubação e, aqueles cascalhentos e arenosos possuem retenção de água baixa (Oliveira et al., 2017).

Metodologia

Levantamento dos dados do solo e cobertura vegetal

Organização dos dados de solo

Foram utilizados dados de granulometria (areia, silte e argila) e carbono orgânico (C org), sendo o teor de C org foi obtido pela divisão do teor de Matéria Orgânica (MO) por 1,724 conforme método descrito a seguir. Esses dados foram utilizados para validação da proposta de níveis e compõem o acervo obtido para o estado do Mato Grosso do Sul (Lins, 2012).

Definição da condição de uso do solo

Foi estabelecida a condição de uso e cultivo com agricultura.

Determinação do carbono orgânico e das classes texturais do solo

Carbono orgânico (C org)

O teor de C org foi obtido pela divisão do teor de Matéria Orgânica (MO) pelo fator 1,724. O teor de MO foi obtido pela oxidação por dicromato (via úmida) conforme método colorimétrico proposto por Walkley e Black (1934). Para maiores informações buscar no Capítulo 1 desta publicação.

Classes texturais

Foram obtidas as classes texturais: arenosa, média, argilosa, muito argilosa e siltosa. Para maiores informações buscar no Capítulo 1 desta publicação.

Estabelecimento dos níveis de referência do carbono orgânico do solo

Os valores limites dos níveis de referência foram elaborados a partir da proposta de Sousa e Lobato (2004).

A proposta foi validada a partir do acervo de dados do estado do Mato Grosso do Sul (Lins, 2012). Os níveis de C org em cada classe textural com dados disponíveis e suficientes foram estabelecidos da seguinte forma (Fontana et al., 2024):

nível baixo: valor da mediana diminuído de metade do valor da mediana;

nível alto: valor da mediana somado de metade do valor da mediana;

nível médio: valores limites dos níveis baixo e alto.

Todos os valores limites dos níveis foram arredondados, considerando, para cima os teores com valor com decimal de 0,5 ou mais (Ex., 5,5 ou mais, o valor foi para 6,0).

Tabelas de referência

Os valores limites dos três níveis aumentam da textura arenosa para a muito argilosa (Tabela 4.1), sendo de forma expressiva a partir da textura média. Os teores de C org partem de 4,0 g kg⁻¹ no nível baixo e textura arenosa até 30,0 g kg⁻¹ no nível alto na textura muito argilosa.

Para os estados desse bioma, como Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais e São Paulo, há níveis de referência de C org em manuais de interpretação de análises de solo e recomendação de calagem e adubação em base volumétrica (volume - cachimbada) e generalizados quanto ao uso ou cultivo até 20 cm de profundidade com valores < 9,0; 9,0-14,0 e > 14,0 (g dm⁻³) (Modificado de Tomé Júnior, 1997). Especificamente para o estado de São Paulo, considerando as classes texturais, em base volumétrica o teor de C org inferior a 7,0 g dm⁻³ em solos arenosos; 7,0 a 13,0 g dm⁻³ em solos de textura média e 13,0 a 26,0 g dm⁻³ para solos argilosos. Valores superiores a 26,0 g dm⁻³ ocorrem em solos sob condições específicas, em geral por má drenagem ou acidez elevada (Modificado de Cantarella et al. 2022).

No estado de Minas Gerais, os níveis de referência em base gravimétrica (peso) são em maior quantidade, desde muito baixo até muito alto e valores ≤ 4,0; 4,0-11,6; 11,6-23,2; 23,2-40,6 e > 40,6 g kg⁻¹ (Modificado de Alvarez et al., 1999).

Tabela 4.1. Níveis de C org (g kg⁻¹) na camada de 0-20 cm e classes texturais no solo cultivado do bioma Cerrado.

Textura	Baixo	Médio	Alto
Arenosa	< 4,0	4,0-8,0	> 8,0
Média	< 9,0	9,0-17,0	> 17,0
Argilosa	< 13,0	13,0-26,0	> 26,0
Muito Argilosa	< 16,0	16,0-30,0	> 30,0

Fonte: Adaptado de Souza e Lobato (2004).

Valores obtidos em % multiplicar por 10 para obter em g kg⁻¹.

Ler o Capítulo 1 devido a variação dos métodos.

Considerações finais

Os níveis de referência de carbono orgânico nos solos cultivados do Cerrado são intermediários em relação aos outros biomas, sendo maiores que o Pantanal e Pampa e menores que a Amazônia e Mata Atlântica.

Referências bibliográficas

- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. **Interpretação dos resultados das análises de solos**. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. ed. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa, MG. 1999. 359p.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS, D. **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 5. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2022.
- FONTANA, A.; CAMPOS, D. V. B. de. **Carbono orgânico**. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 360-367. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/194453/1/Pt-3-Cap-1-Carbono-organico.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2024.
- LINS, C. **Diagnóstico da fertilidade do solo e estimativas de recomendação de calagem e adubação**. Dissertação (Mestrado). Universidade federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2012, 57p.
- OLIVEIRA, V. A.; JACOMINE, P. K. T.; COUTO, E. G. **Solos do bioma Cerrado**. In: CURTI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E.

G. R. editores. *Pedologia – solos dos biomas brasileiros*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. p. 177-226.

SANO, E. E. **Bioma Cerrado: agricultura no Cerrado brasileiro, histórico e desafios da agricultura ambientalmente sustentável**. In: VILELA, E. F.; CALLEGARO, G. M.; FERNANDES, G. W. (Org.) *Biomass e agricultura: oportunidades e desafios*. Rio de Janeiro: Vertente Edições, 2019. p.55-64.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do Solo e Adubação**. EMBRAPA Cerrados, 2004. 416p.

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 1997. 247 p.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, n. 1, p. 29-38, 1934. DOI: doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003.

Capítulo 5. Níveis de referência do carbono orgânico nos solos cultivados do bioma Mata Atlântica

*Fabiano de Carvalho Balieiro
Guilherme Montandon Chaer*

Introdução

O bioma Mata Atlântica experimentou diversos ciclos econômicos do Brasil Colônia, com a exploração extrativista do Pau-Brasil, prosseguindo para grandes áreas com o cultivo de cana-de-açúcar e a pecuária, principalmente (Dean, 1995).

A partir do século XVIII (anos de 1700), a mineração e o estabelecimento do ciclo do café em áreas impróprias para a cana-de-açúcar, como é o caso de áreas montanhosas do bioma transformaram o bioma, dando origem a uma paisagem fragmentada onde a maior parte da sua vegetação original (79% dos seus fragmentos) tem área menor que 50 ha (Ribeiro et al., 2009). Mais recentemente, a industrialização e a urbanização passaram a pressionar os recursos naturais do bioma, com consequências diversas sobre os serviços ecossistêmicos por ele prestados e agravadas pelas mudanças climáticas (Viezzler et al., 2019; Prado et al., 2024).

Por ser um bioma extenso e com muitas variações de paisagens e ocupações é complexo definir um padrão de uso das terras, ou mesmo elencar os inúmeros cultivos agrícolas que envolvem as distintas realidades agrícolas desse bioma.

O Censo Agropecuário do IBGE do ano de 2017 destaca que a Mata Atlântica tem 27% da área agrícola do país (~70Mha) e é responsável por 52% da produção de alimentos de consumo direto (exceto soja, milho e cana-de-açúcar), 30% da produção de fibras (látex e algodão), 62% do plantel de bovinos, ovinos, aves e suínos, 43% da produção de soja, milho e cana-de-açúcar, e 56% de alimentos para produção animal e grandes grupos de culturas, como anuais (grãos), cana-de-açúcar e café, olericultura, fruticultura, pastagens (corte e leite) e floresta plantada.

Aos solos, contempla a maior diversidade dentre todos os biomas, que acompanha os diversos potenciais agrícolas e caracterizado pelos diferentes cultivos, que podem variar substancialmente

em intervalos de poucos metros, de afloramentos rochosos, rasos e pedregosos/rochosos até muito profundos, e distróficos, eutróficos, salinos e tiomórficos, além da textura arenosa a muito argilosa, orgânicos (turfas) e superficial húmicos relictuais (Resende et al., 2002; Coelho et al., 2017).

Metodologia

Levantamento dos dados do solo e cobertura vegetal

Organização dos dados de solo

Foram levantados dados de granulometria (areia, silte e argila) e matéria orgânica de diversos estados da base de dados oriundos das análises realizadas em laboratórios comerciais em avaliações que contemplam a BioAs. O teor de carbono orgânico (C org) foi obtido pela divisão do teor de MO por 1,724 conforme método descrito a seguir.

Estes resultados abarcam majoritariamente os estados de Santa Catarina, Paraná, Rio de Janeiro e Espírito Santo.

Definição da condição de uso do solo

Foram selecionados os usos em função da descrição da amostra enviada para a análise como agricultura e todos os cultivos.

Determinação do carbono orgânico e das classes texturais do solo

Carbono orgânico (C org)

O teor de C org foi obtido pela divisão do teor de Matéria Orgânica (MO) pelo fator 1,724. O teor de MO foi obtido pela oxidação por dicromato (via úmida) conforme método colorimétrico conforme método proposto por Walkley e Black (1934). Para maiores informações buscar no Capítulo 1 desta publicação.

Classes texturais

Foram obtidas as classes texturais: arenosa, média, argilosa, muito argilosa e siltosa. Para maiores informações buscar no Capítulo 1 dessa publicação.

Estabelecimento dos níveis de referência do carbono orgânico do solo

Os níveis de C org em cada classe textural com dados disponíveis e suficientes foram estabelecidos da seguinte forma (Fontana et al., 2024):

nível baixo: valor da mediana diminuído de metade do valor da mediana;

nível alto: valor da mediana somado de metade do valor da mediana;

nível médio: valores limites dos níveis baixo e alto.

Todos os valores limites dos níveis foram arredondados, considerando, para cima os teores com valor com decimal de 0,5 ou mais (Ex., 5,5 ou mais, o valor foi para 6,0).

Tabelas de referência

No total, 1.060 informações foram obtidas para as classes texturais arenosa, média, argilosa e muito argilosa, exceto a siltosa. Os valores limites dos níveis de carbono orgânico (C org) aumentam da textura arenosa para a muito argilosa (Tabela 1), sendo de forma expressiva a partir da textura argilosa. O menor valor do C org para nível baixo e textura arenosa de 6,0 g kg⁻¹ e o maior de 55,0 g kg⁻¹ para o nível alto e textura muito argilosa.

Há níveis de referência de C org em manuais de interpretação de análises de solo e recomendação de calagem e adubação em base volumétrica (volume - cachimbada) e generalizados quanto ao uso ou cultivo até 20 cm de profundidade para parte os estados de Minas Gerais, Paraná e São Paulo com valores < 9,0; 9,0-14,0 e > 14,0 g dm⁻³ (Modificado de Tomé Júnior, 1997). Especificamente para o estado de São Paulo, considerando as classes texturais, em base volumétrica o teor de C org inferior a 7,0 g dm⁻³ em solos arenosos; 7,0 a 13,0 g dm⁻³ em solos de textura média e 13,0 a 26,0 g dm⁻³ para solos argilosos. Valores superiores a 26,0 g dm⁻³ ocorrem em solos sob condições específicas, em geral por má drenagem ou acidez elevada (Modificado de Cantarella et al. 2022). No estado do Espírito Santo, os valores dos níveis < 9,0; 9,0-17,0 e > 17,0 g kg⁻¹ (Prezotti, Fullin, 2007).

No estado de Santa Catarina, a comissão de química e fertilidade do solo estabelece em base gravimétrica (peso) e generalizados quanto ao uso ou cultivo até 20 cm de profundidade, sendo valores oriundos dos teores de MO/1,724: ≤ 14,0; 15,0-30,0 e > 30,0 g kg⁻¹ (Modificado de Tomé Júnior, 1997; SBCS, 2016). No estado de Minas Gerais, os níveis de referência são em maior quantidade, desde muito baixo até muito alto, sendo os valores ≤ 4,0; 4,0-11,6; 11,6-23,2; 23,2-40,6; > 40,6 g kg⁻¹ (Modificado de Alvarez et al., 1999).

Tabela 5.1. Níveis de C org (g kg⁻¹) na camada de 0-20 cm e classes texturais no solo cultivado do bioma Mata Atlântica.

Textura	Baixo	Médio	Alto
Arenosa	< 6,0	6,0-17,0	> 17,0
Média	< 7,0	7,0-21,0	> 21,0
Argilosa	< 12,0	12,0-36,0	> 36,0
Muito Argilosa	< 18,0	18,0-55,0	> 55,0

Valores obtidos em % multiplicar por 10 para obter em g kg⁻¹.

Ler o Capítulo 1 devido a variação dos métodos.

Considerações finais

Os níveis de referência de carbono orgânico nos solos cultivados da Mata Atlântica são superiores aos demais biomas e preconizam uma condição preponderante para o estoque de matéria orgânica nos solos.

Referências bibliográficas

- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. **Interpretação dos resultados das análises de solos**. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. ed. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa, MG. 1999. 359p.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS, D. **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 5. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2022.
- COELHO, R. M.; ROSSI, M.; MATTOS, I. F. A. **Solos da Mata Atlântica**. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. editores. *Pedologia – solos dos biomas brasileiros*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. p. 261-302.
- DEAN, W. **A ferro e fogo: A história e a devastação da Mata Atlântica Brasileira**. São Paulo: Companhia das Letras. 1995.
- FONTANA, A.; CAMPOS, D. V. B. de. **Carbono orgânico**. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017, p. 360-367. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/194453/1/>

Pt-3-Cap-1-Carbono-organico.pdf. Acesso em: 5 ago. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário**. (2017). Disponível em: <<https://censoagro2017.ibge.gov.br>> Acesso em: ago. de 2024.

PRADO, R. B.; OVERBECK, G. E.; GRACO-ROZA, C.; MOREIRA, R. A.; MONTEIRO, M. M.; DUARTE, G. T. org. **Relatório Temático sobre Agricultura, Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**. Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (BPBES). 1ª Ed. Campinas, 2024. 195 p.

PREZOTTI, L. C.; FULLIN, E. A. **Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas**. In: PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. ed. Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo: 5ª aproximação. SEEA\INCAPER\CEDAGRO, 2007. 305 p.

RESENDE, M.; LANI, J. L.; REZENDE, S. B. de. Pedossistemas da Mata Atlântica: considerações pertinentes sobre a sustentabilidade. **Revista Árvore**, v. 26, n. 3, p. 261-269, 2002.

Ribeiro, M. C.; Metzger, J. P.; Martensen, A. C.; Ponzoni, F. J.; and Hirota, M. M. The Brazilian Atlantic Forest How

much is left, and how is the remaining forest distributed Implications for conservation. **Biological Conservation**, v.142, 1141–1153, 2009.

SBCS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376 p.

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 1997. 247 p.

VIEZZER, J.; SENTA, M. M. D.; VIEIRA, R. M. **Bioma Mata Atlântica: oportunidades e desafios de pesquisa em ciências agrárias para o desenvolvimento sustentável**. In: VILELA, E. F.; CALLEGARO, G. M.; FERNANDES, G. W. (Org.) Biomas e agricultura: oportunidades e desafios. Rio de Janeiro: Vertente Edições, 2019. p.81-94.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, n. 1, p. 29-38, 1934. DOI: doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

Capítulo 6. Níveis de referência do carbono orgânico nos solos cultivados do bioma Pampa

*Naylor Bastiani Perez
Rafael Sobroza Becker
Marcos Corrêa Neves*

Introdução

O Bioma Pampa, ocupa no Brasil somente parte do território do estado do Rio Grande do Sul e cerca de 63% do Bioma se estende pelo Uruguai e Argentina. O clima é subtropical úmido, com estações bem definidas e temperatura média anual variando entre 16 e 20°C. A precipitação é bem distribuída nos meses do ano e oscila entre 1.200 e 1.800 mm, com ocorrência frequente de déficit hídrico durante o período de verão. Sua vegetação nativa é predominantemente herbácea, sendo por isso denominada campo nativo. Os campos nativos apresentam grande diversidade florística, com cerca de 2.200 táxons de plantas campestres no RS (Boldrini, 2009) e, além deles, manchas de florestas subtropicais, matas ciliares e banhados.

Inicialmente, povos originários do Pampa como Charruas, Minuanos, Guenoas, Chanás e Pampeanos tinham sua subsistência baseada no uso dos recursos naturais de forma itinerante, incluindo a caça, a coleta de frutos e raízes e a agricultura em pequena escala com o cultivo de milho, mandioca e batata-doce, especialmente praticada pelos Guaranis (Porto, 1954; Bellani, 2016). Eles também realizavam queimadas para atrair caça e renovar as pastagens nativas, contribuindo para manter a fisionomia campestre, antes da chegada do gado europeu (Overbeck et al., 2007; Bellani, 2016).

A partir do século XVI (anos de 1700), com a introdução do gado bovino e equino, a criação extensiva expandiu-se de forma rápida e ampla, favorecida pela vegetação campestre e pelo clima ameno, tornando-se assim a base da economia regional. A baixa densidade hidrográfica, escassa disponibilidade de árvores e madeira, somadas ao constante litígio pela ocupação do território, entre Portugal e Espanha no período colonial, imprimiram um modelo de ocupação do solo com grandes

propriedades. Esse modelo, baseado na atividade pecuária extensiva ajudou a manter a paisagem e a conservação da vegetação campestre até o início da expansão da agricultura na região. Entretanto, relatos da época já indicavam a modificação da flora pelo uso do fogo, para controle da grama alta e pela utilização de elevada taxa de lotação de gado, estimada à época em meia cabeça por hectare (Azara, 1945).

Mais recentemente, entre segunda metade do século XIX (anos de 1800) e início do século XX (anos de 1900), inicia-se um processo de modernização e expansão da agricultura, impulsionado pela migração de novas gerações de colonos alemães e italianos, cujas famílias estavam localizadas em áreas com ocorrência, de florestas, ao norte do estado (Pesavento, 1994). Assim, o cultivo de trigo, arroz e soja expandiu-se no ambiente até então dominado pela pecuária extensiva (Becker, 1992). Essa substituição gradual dos campos nativos pela agricultura, impactada pelos eventos climáticos e pelos ciclos de preços do gado e dos grãos, teve avanços e retrocessos. Entretanto, nas últimas décadas, houve rápida expansão do cultivo da soja, que também passou a ocupar as áreas baixas, anteriormente cultivadas apenas com arroz. Estimativas do MapBio-mas (2024), mostram que a área dedicada à agricultura no bioma Pampa atingiu cerca de 29% do território, ocupando 5,6 milhões de hectares. Essa conversão para outros usos da terra, tem sido motivo de preocupação devido a perda de diversidade florística, somada a relatos de degradação pelo pastejo excessivo e pelo aumento da silvicultura (Andrade et al., 2015; Foucher et al., 2023).

Os solos são muito variados e com contrastes muito claros, que podem ocorrer em poucos metros até áreas homogêneas extensas. Destacam-se aqueles argilosos a muito argilosos com minerais de argila expansivos, pouca espessura com rochas ou fragmentos grossos até mal drenados, com altos teores de nutrientes e matéria orgânica, alguns com a presença de carbonatos. Também ocorrem solos muito profundos, com textura arenosa até muito argilosa e pouca variação ao longo do perfil, baixa reserva de nutrientes e matéria orgânica, caracterizando em alguns locais com solos arenosos as paisagens de “arenização” devido a degradação da capacidade de suporte vegetal pela falta de nutrientes e água, além da ocorrência de erosão hídrica severa - voçorocas. Não obstante os solos com gradiente textural (superfície arenosa e subsuperfície argilosa ou muito argilosa) e outros com características de oxidação e redução de ferro (Almeida, 2017).

Metodologia

Levantamento dos dados do solo e cobertura vegetal

Organização dos dados de solo

Os dados são provenientes da Central Analítica da Universidade de Santa Cruz do Sul, contando com as análises de 456.952 amostras, realizadas na camada de 0-20 cm no período de 2020 a 2025, em 154 dos 160 municípios, representando 96% dos municípios do Bioma, conforme a classificação do IBGE (2024).

As amostras analisadas foram coletadas na camada de 0-20 cm, por ser considerada a camada diagnóstica padrão para as análises de fertilidade do solo, não havendo informações detalhadas sobre os procedimentos adotados durante a coleta das mesmas.

Definição da condição de uso do solo

Devido à inexistência de identificação do tipo de uso em boa parte das amostras e, tomando por base o uso massivo de amostragem para intervenções agrícolas, as análises foram consideradas como sendo de locais com cultivos agrícolas.

Determinação do carbono orgânico e das classes texturais do solo

Carbono orgânico (C org)

O teor de C org foi obtido pela divisão do teor de Matéria Orgânica (MO) pelo fator 1,93 ($1,724 \times 1,12$). O teor de MO foi obtido pela oxidação por dicromato (via úmida) conforme método colorimétrico proposto por Walkley e Black (1934) e adaptado por Tedesco et al. (1995). Ao método proposto por Tedesco et al. (1995), o mesmo considera a oxidação da MO de 90%. Nessa condição, para obter o teor de C org próximo ao método proposto por Walkley e Black, basta dividir o teor de C org por 1,12. Para maiores informações buscar no Capítulo 1 desta publicação.

Classes texturais

Foram obtidas as classes texturais: arenosa, média, argilosa, muito argilosa. Para maiores informações buscar no Capítulo 1 desta publicação.

Estabelecimento dos níveis de referência do carbono orgânico do solo

Para determinar os valores de carbono orgânico nas amostras de solo, os valores da matéria orgânica em % foram ajustados para (g dm^{-3}). Posteriormente, os valores foram divididos por

1,93, obtendo assim o carbono orgânico (g dm^{-3}). Os teores de carbono orgânico foram harmonizados para a base gravimétrica dividindo os valores pela densidade da terra fina com base na fórmula que contempla os teores de argila segundo equação proposta por Cordeiro et al. (2020).

A partir da distribuição dos valores, estabeleceram-se os limites para três classes a partir dos valores das médias (teor médio) e dos quartis superiores (teor alto) e inferiores (teor baixo). Esses valores se aproximam da regra que utiliza a mediana, conforme definido por Fontana et al. (2024), uma vez que conta com grande quantidade de dados.

Tabelas de referência

No total, aproximadamente 457 mil informações foram obtidas para as classes texturais arenosa, média, argilosa e muito argilosa, exceto a siltosa. Os valores limites aumentam com a elevação do teor de argila, assim, da textura arenosa para a muito argilosa. Contudo, há muita semelhança entre os valores dos níveis de C org das texturas argilosa e muito argilosa (Tabela 6.1). O menor valor do C org ocorre para nível baixo e textura arenosa de $4,0 \text{ g kg}^{-1}$ e o maior de $19,0 \text{ g kg}^{-1}$ para o nível alto e textura argilosa e muito argilosa.

Para o estado do Rio Grande do Sul, a comissão de química e fertilidade do solo estabelece níveis de referência de C org em base gravimétrica na unidade e generalizados quanto ao uso ou cultivo até 20 cm de profundidade sendo obtido a partir dos teores de MO/1,724: $\leq 14,0$; $14,0-30,0$ e $> 30,0$ (Modificado de Tomé Júnior, 1997; SBCS, 2016).

Tabela 6.1. Níveis de C org (g kg^{-1}) na camada de 0-20 cm e classes texturais no solo cultivado do bioma Pampa.

Textura	Baixo	Médio	Alto
Arenosa	$< 4,0$	$4,0-8,0$	$> 8,0$
Média	$< 7,0$	$7,0-13,0$	$> 13,0$
Argilosa	$< 13,0$	$13,0-19,0$	$> 19,0$
Muito Argilosa	$< 14,0$	$14,0-19,0$	$> 19,0$

Valores obtidos em % multiplicar por 10 para obter em g kg^{-1} .

Ler o Capítulo 1 devido a variação dos métodos.

Considerações finais

Os níveis de referência de carbono orgânico nos solos cultivados do Pampa são semelhantes aos do Pantanal (Capítulo 7).

Agradecimentos

À Universidade de Santa Cruz do Sul, em especial a coordenação do curso de Agronomia e a coordenação da Central Analítica pelos dados das análises de solo.

Referências bibliográficas

- ALMEIDA, J. A. **Solos das pradarias mistas do sul do Brasil (Pampa Gaúcho)**. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. editores. *Pedologia – solos dos biomas brasileiros*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. p. 407-466.
- ANDRADE, B. O.; KOCH, C.; BOLDRINI, I. I.; VÉLEZ-MARTIN, E.; HASENACK, H.; HERMANN, J.-M.; KOLLMAN, J.; PILLAR, V. D.; OVERBECK, G. E. **Grassland degradation and restoration: A conceptual framework of stages and thresholds illustrated by Southern Brazilian grasslands**. *Nat Conservação*. 2015; 13:95-104. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.08.002> Acesso em: 21/08/2025
- AZARA, F. **Description e história del Paraguay y el Río de la Plata**. Buenos Aires: Babel, 1945. 352 p.
- BECKER, B. K. **Modernização e território: entre o campo e a cidade**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.
- BELLANI, M. **Arqueologia e história indígena no Bioma Pampa**. In: HASENACK, H.; OVERBECK, G. E. (orgs.). *Ecologia e conservação do Pampa*. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2016.
- BOLDRINI, I. I. **A flora dos Campos do Rio Grande do Sul**. In: PILLAR, V. D.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A. (Eds.). *Campos Sulinos*. MMA, Brasília, pp. 63–77, 2009.
- CORDEIRO, F. R.; CESÁRIO, F. V.; FONTANA, A.; ANJOS, L. H. C. dos; CANTO, A. C. B. do; TEIXEIRA, W. G. **Pedotransfer functions: the role of soil chemical properties units conversion for soil classification**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 44, e0190086, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190086>.
- FOUCHER, A.; TASSANO, M.; CHABOCHE, P. A. Inexorable land degradation due to agriculture expansion in South American Pampa. *Nature Sustainability*, v. 6, p. 662-670, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01074-z>. HASENACK, Heinrich; OVERBECK, Gerhard E. (orgs.). *Ecologia e conservação do Pampa*. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2016.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Bioma predominante por Município para fins estatísticos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. 39 p.
- MAPBIOMAS. **Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil. Coleção 10 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil, período 1985–2024**. São Paulo: MapBiomas, 2024. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 8 set. 2025.
- OVERBECK, G. E. O futuro dos Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade campestre. *Ciência Hoje*, v. 41, n. 244, p.36-41, 2007.
- PORTO, A. **História das Missões Orientais do Uruguai**. 1954.
- PESAVENTO, S. J. **História do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1994.
- SBCS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376p.
- TEDESCO J. M.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEM, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).
- TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 1997. 247 p

Capítulo 7. Níveis de referência do carbono orgânico nos solos cultivados do bioma Pantanal

Ademir Fontana

Manuel Claudio Motta Macedo

Introdução

O bioma Pantanal tem como atividade principal a pecuária extensiva - cria, a qual, acompanhou a colonização do país após o ciclo do ouro na Baixada Cuiabana, com a gradual ocupação das pastagens nativas (vegetação campestre) pela adaptação das práticas de manejo do gado e das forrageiras para as peculiaridades regionais (Fernandes et al., 2019; Embrapa Pantanal, 2025).

No início do século XX (anos de 1900), começou a ocorrer o transporte a pé de gado magro para engorda em pastagens cultivadas no noroeste paulista e triângulo mineiro, onde as raças zebuínas começavam a ganhar preferência em relação às crioulas, especialmente a raça Nelore. No Pantanal, a adoção de tecnologias produtivas ficou defasada devido a carência de acesso, com deficiências em comunicação e transporte, além de limitações pelos solos de baixa fertilidade e inundações (Embrapa Pantanal, 2025).

As pastagens contam com espécies nativas de gramíneas, como o *Andropogon* e outras. Também, destaca-se a introdução de espécies exóticas do gênero *Urochloa* (Brachiarias), especialmente, da humidicola. As pastagens não são adubadas e a manutenção dos nutrientes depende da liberação no solo pela mineralização da matéria orgânica ou deposição de sedimentos trazidos pelo transbordamento dos cursos fluviais (Fernandes et al., 2019).

Os solos são predominantemente pouco desenvolvidos – pouco profundos, devido ao hidromorfismo (lençol freático alto) como consequência de uma planície de inundação, com predomínio da textura arenosa, seguido com grande expressão de solos que tem em subsuperfície aumento expressivo da quantidade de argila (textura argilosa ou muito argilosa), proporcionando um gradiente textural (variação de textura da superfície para a subsuperfície).

Em muitos desses solos ocorre a concentração de sais solúveis que se expressam na formação de estruturas em colunas na subsuperfície e salinas. Em geral as cores são acinzentadas e muitos com pontuações vermelho-amareladas pela oxidação do ferro (Couto et al., 2017).

Metodologia

Levantamento dos dados do solo e cobertura vegetal

Organização dos dados de solo

Foram buscados dados de granulometria (areia, silte e argila) e carbono orgânico (C org) de horizontes em perfis de solo sob vegetação natural. Os dados foram obtidos do Sistema de Informação de Solos Brasileiros – BDSOLOS (Embrapa, 2022).

Foi organizada uma planilha com os horizontes minerais superficiais (A) e subsuperficiais (E, B, C e F), sendo excluídos, os horizontes orgânicos (O e H) (teor de C org $\geq 80,0$ g kg⁻¹) (Fontana et al., 2024).

Adequação dos dados em horizontes para camadas do solo

Os teores de C org e frações granulométricas foram determinados em amostras de solo coletadas com espessuras variadas pelos horizontes genéticos (definidos por características morfológicas – cor, estrutura e consistência).

Desta forma, a partir das espessuras dos horizontes, foi efetuado a adequação para a camada padrão de 0-20 cm (Fontana et al., 2024).

$$C \text{ org ou Fração Granulométrica} = (\text{Atributo} \times \text{EsHorX} + \text{Atributo} \times \text{EsHorXn}) / \text{EsCT}$$

Onde: *EsHorX*: espessura do horizonte que contribui para a camada de interesse; *EsCT*: espessura total da camada de interesse.

Definição da condição de uso do solo

Foi estabelecida de acordo com as classes de vegetação Formação Campestre Floresta e Campo Alagado e Área Pantanosa (MapBiomas, 2021), contudo, em geral na descrição dos perfis de solo estava como “pastagem natural”.

Na ausência do bioma como informação do perfil de solo, a designação foi dada a partir da localização do perfil ou município conforme da delimitação dos biomas brasileiros (IBGE, 2019).

Determinação do carbono orgânico e das classes texturais do solo

Carbono orgânico (C org)

O teor de C org foi obtido pelo método de oxidação por dicromato (via úmida) proposto por Walkley e Black (1934) ou por método modificado (Walkley e Black modificado), que incluiu a adição da fonte de calor externa (Fontana e Campos, 2017). Para maiores informações buscar no Capítulo 1 desta publicação.

Classes texturais

Foram obtidas as classes texturais: arenosa, média, argilosa, muito argilosa e siltosa. Para maiores informações buscar no Capítulo 1 desta publicação.

Estabelecimento dos níveis de referência do carbono orgânico do solo

Os níveis de C org em cada classe textural com dados disponíveis e suficientes foram estabelecidos da seguinte forma (Fontana et al., 2024):

nível baixo: valor da mediana diminuído de metade do valor da mediana;

nível alto: valor da mediana somado de metade do valor da mediana;

nível médio: valores limites dos níveis baixo e alto.

Todos os valores limites dos níveis foram arredondados, considerando, para cima os teores com valor com decimal de 0,5 ou mais (Ex., 5,5 ou mais, o valor foi para 6,0).

Tabelas de referência

No total, foram compilados dados de 81 locais e em 3 classes texturais (arenosa, média e argilosa), exceto a muito argilosa e siltosa.

Os teores de carbono orgânico (C org) se correlacionam positivamente aos teores de argila com valor de 0,40. Este valor é ligeiramente inferior ao observado em condição de vegetação natural (0,49) (Fontana et al., 2024).

Os valores limites de C org aumentam da textura arenosa para a muito argilosa (Tabela 1), sendo de forma expressiva a partir da textura média. O menor valor do C org é observado para nível baixo e textura arenosa de 2,0 g kg⁻¹ e o maior valor de 27,0 g kg⁻¹ para nível alto e textura argilosa.

Diferentemente de outros biomas como Cerrado, Mata Atlântica ou Pampa, não há valores de referência registrados ou propostos em manuais de interpretação de análises de solo.

Tabela 7.1. Níveis de C org (g kg⁻¹) na camada de 0-20 cm e classes texturais no solo cultivado do bioma Pantanal.

Textura	Baixo	Médio	Alto
Arenosa	< 2,0	2,0-6,0	> 6,0
Média	< 6,0	6,0-18,0	> 18,0
Argilosa	< 9,0	9,0-27,0	> 27,0

Valores obtidos em % multiplicar por 10 para obter em g kg⁻¹.

Ler o Capítulo 1 devido a variação dos métodos.

Considerações finais

Os níveis de referência de carbono orgânico nos solos cultivados do Pantanal são inferiores aos demais biomas e, preconizam uma condição relacionada à baixa capacidade de produção primária de material orgânico, além da elevada taxa de decomposição em condição de umidade e temperatura ao longo de todo o ano.

Referências bibliográficas

COUTO, E. G.; OLIVEIRA, V. A.; BEIRIGO, R. M.; OLIVEIRA JUNIOR, J. C.; NASCIMENTO, A. F.; VILA-TORRADO, P. **Solos do Pantanal Mato-Grossense**. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. editores. Pedologia – solos dos biomas brasileiros. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. p. 303-352.

EMBRAPA PANTANAL. Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação. Disponível em: <https://www.embrapa.br/pantanal/pecuaria-do-pantanal>. Acesso em 15 de julho de 2025.

FERNANDES, A. H. B. M.; CATELLA, A. C.; SORIANO, B. M. A.; URBANETZ, C.; CARDOSO, E. L.; FERNANDES, F. A.; BERGIER, I.; COMASTRI, J. A.; SALIS, S. M.; TOMAS, W. M. **Bioma Pantanal: oportunidades e desafios de pesquisa para o desenvolvimento sustentável**. In: VILELA, E. F.; CALLEGARO, G. M.; FERNANDES, G. W. (Org.) Biomas e agricultura: oportunidades e desafios. Rio de Janeiro: Vertente Edições, 2019. p.99-122.

FONTANA, A.; CAMPOS, D. V. B. de. **Carbono orgânico**. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 360-367. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/194453/1/Pt-3-Cap-1-Carbono-organico.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2024.

MAPBIOMAS. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>.
Acesso em: 14 julho. 2025.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, n. 1, p. 29-38, 1934. DOI: doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003.