



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Departamento de Ciência do Solo

LSO - 0257 - Fundamentos de Ciência do Solo

MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO: constituintes, características e efeitos

Prof. Dr. Paulo Sérgio Pavinato
Prof. Dr. Antonio Roque Dechen
Prof. Dr. Quirino Augusto de Camargo Carmello

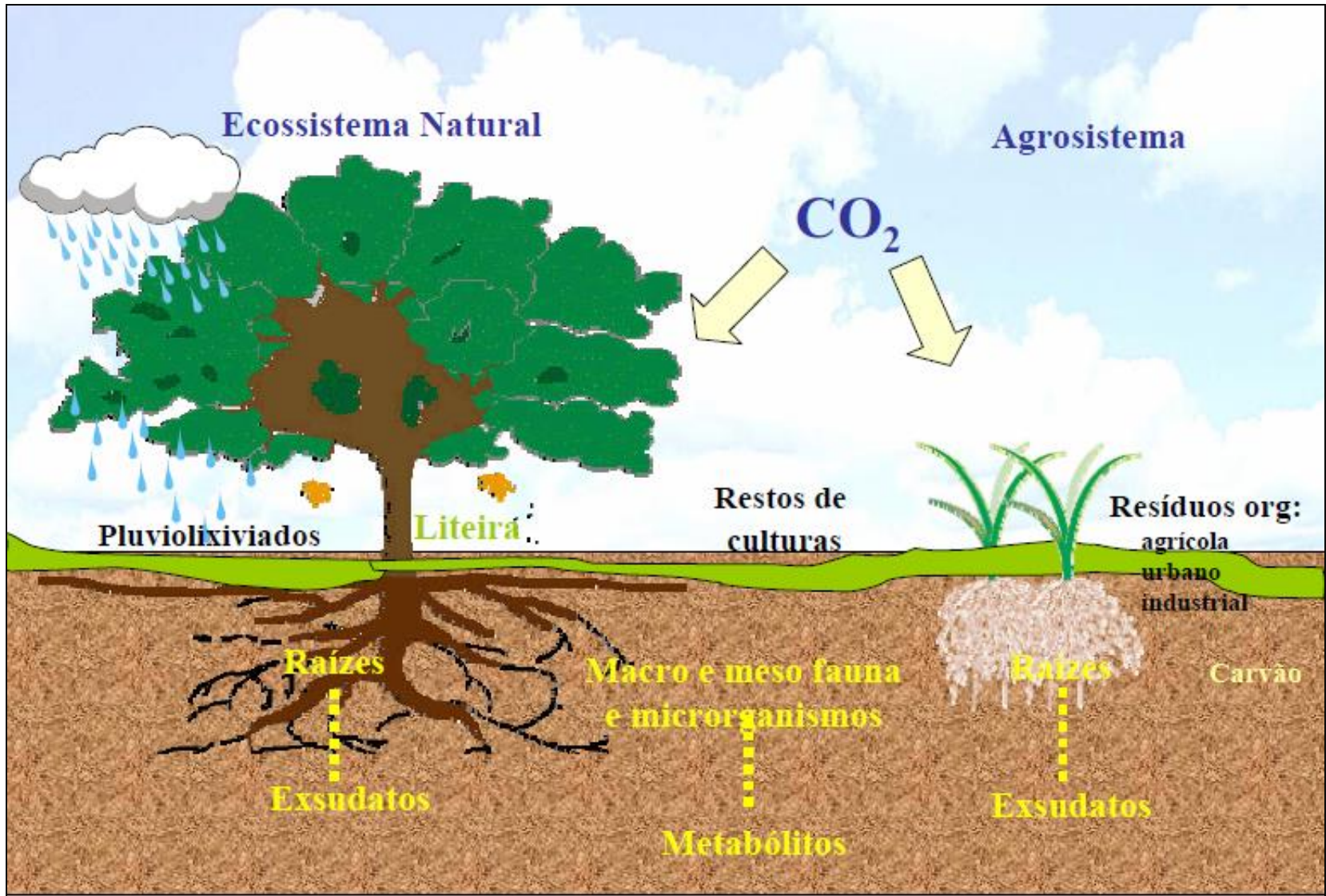
Piracicaba
2017

Matéria orgânica do solo (MOS)

Definição:

Todos os derivados dos materiais vegetais e animais incorporados ao solo ou dispostos sobre sua superfície, na forma viva ou nos vários estágios de decomposição, excluindo-se a parte aérea das plantas.

CONSTITUINTES DA MOS



Conceitos e constituintes da MOS



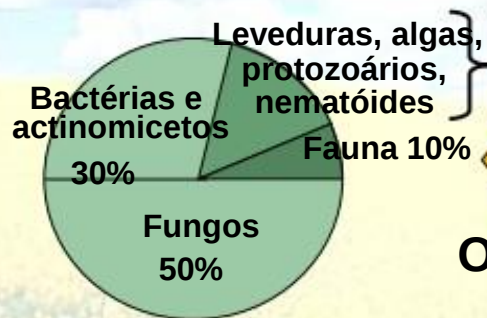
Solo



Fração orgânica

5%

Matéria orgânica estável (húmus)



10%
20-40%
Organismos vivos

Matéria orgânica do solo



MOS prontamente decomponível, serapilheira, raízes e outros

CONSTITUINTES

Pluviolixiviados

Liteira, restos de culturas e resíduos orgânicos

Raízes e exsudatos

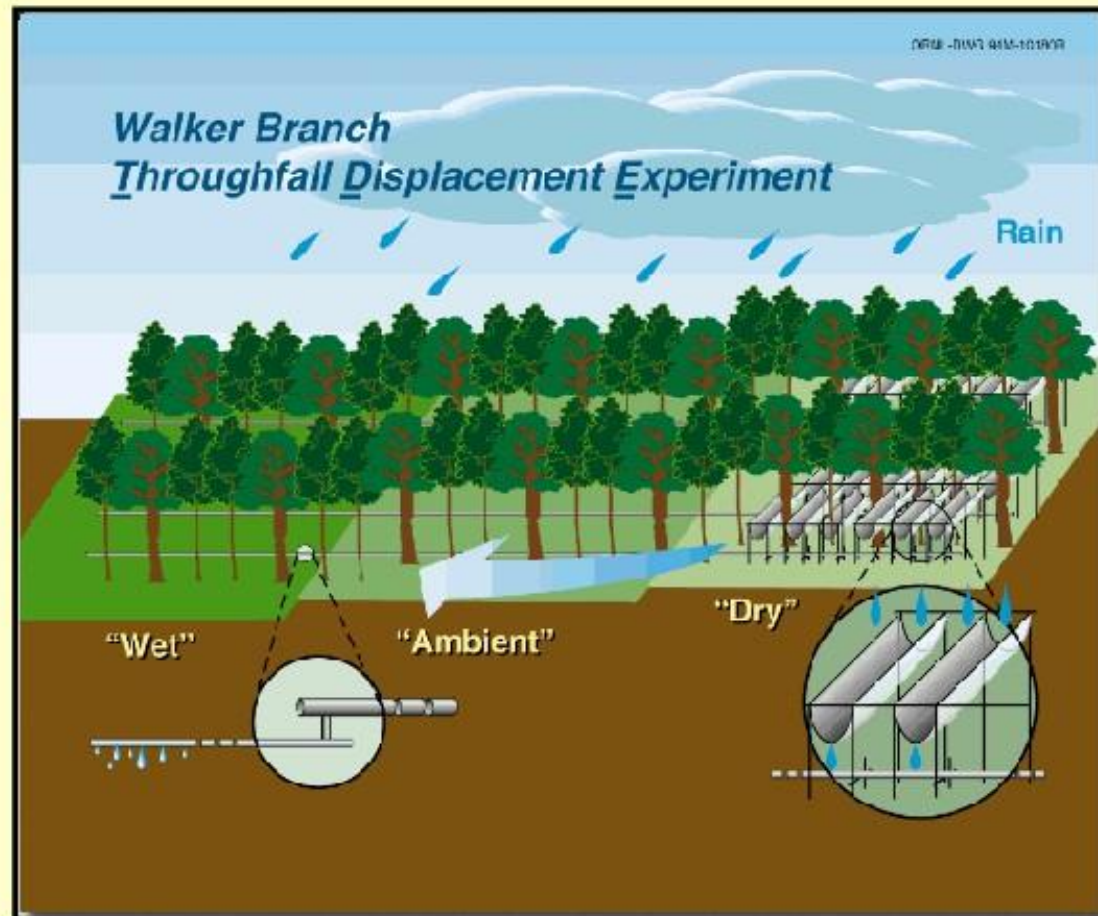
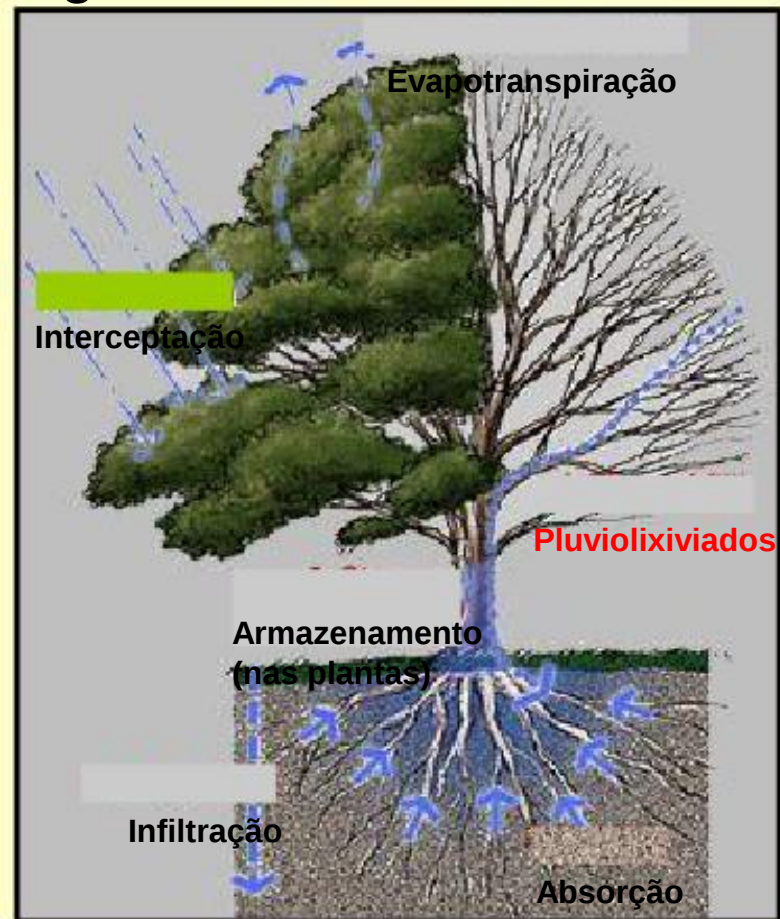
Organismos do solo

Substâncias não-húmicas

Substâncias húmicas

Pluviolixiviados (throughfall)

Definição: Porção da chuva que chega ao solo passando pela copa da vegetação, pelas aberturas nas copas, gotejando das folhas, galhos e troncos.



CONSTITUINTES

Pluviolixiviados

Liteira, restos de culturas e resíduos orgânicos

Raízes e exsudatos

Organismos do solo

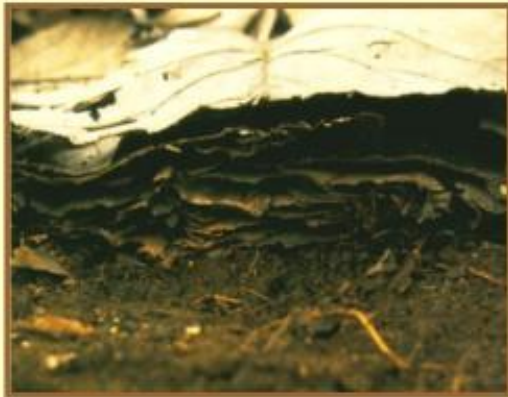
Substâncias não-húmicas

Substâncias húmicas

Conceitos e constituintes da MOS

Liteira, restos de culturas e resíduos orgânicos

Ecosistema natural



Agrossistema

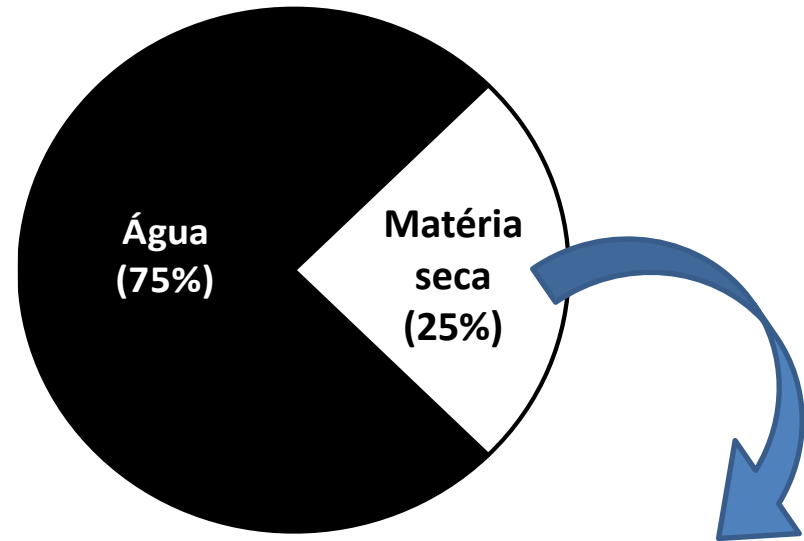


Definição: resíduos vegetais e animais depositados na superfície do solo

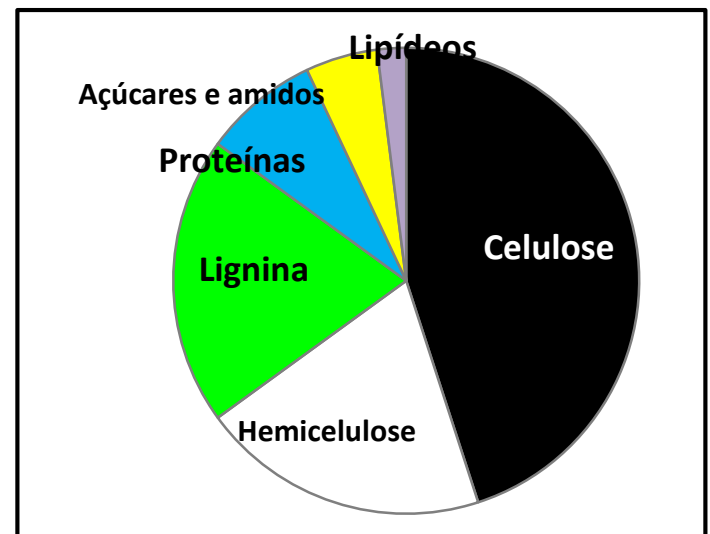
Resíduos orgânicos



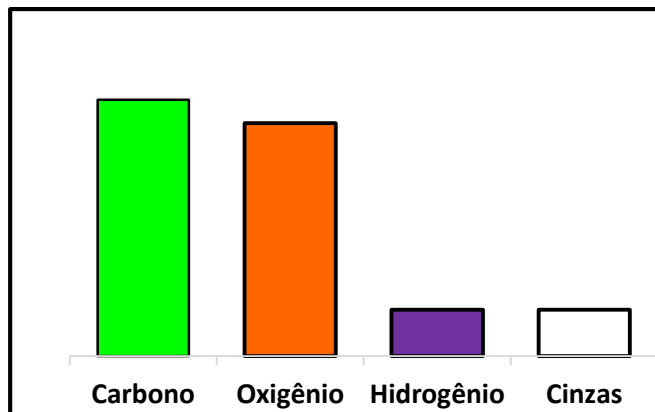
COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS VEGETAIS



Tipo de compostos



Composição elementar (%)



Conceitos e constituintes da MOS

Quantidade de restos vegetais (matéria seca) em diferentes culturas



Palhada no campo



Culturas	Massa kg ha ⁻¹
Soja	2.000
Nabo forrageiro	4.000
Aveia preta	5.000
Cevada	2.000
Centeio	3.000
Trigo	1.500
Milho	6.000

Clube Amigos da Terra, 1995

Conceitos e constituintes da MOS

Tipos de Subprodutos orgânicos

Vinhaça



Composto de lixo urbano



Biossólido



Conceitos e constituintes da MOS

Tipos de subprodutos orgânicos



Estercos

Subprodutos industriais

Farinhas e resíduos frigoríficos

Torta de origem vegetal

Conceitos e constituintes da MOS

Agrossistema: restos culturais
Exemplo: cana-de-açúcar



Corte sem queima x com queima



Medida do volume de material coletado

Palhada ~ 14 Mg ha⁻¹
matéria seca

Conceitos e constituintes da MOS

Agrossistema: restos culturais
Exemplo: plantio direto



Exemplos:

Região

Mg ha⁻¹

Sul (Tibagi-PR)

10,5

Centro-Oeste (Rio Verde-GO)

5,9

CONSTITUINTES

Pluviolixiviados

Liteira, restos de culturas e resíduos orgânicos

Raízes e exsudatos

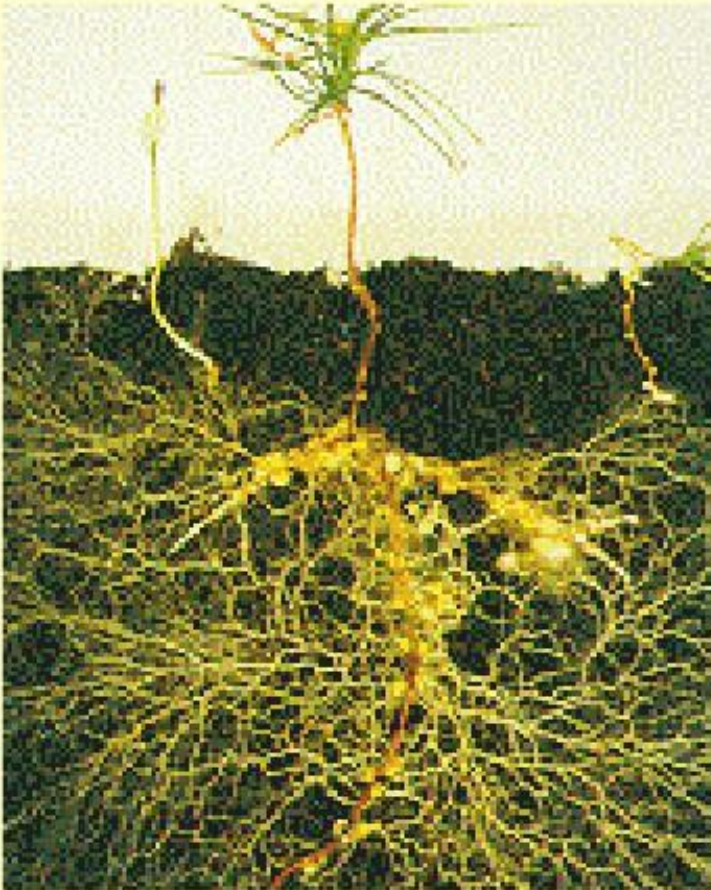
Organismos do solo

Substâncias não-húmicas

Substâncias húmicas

Conceitos e constituintes da MOS

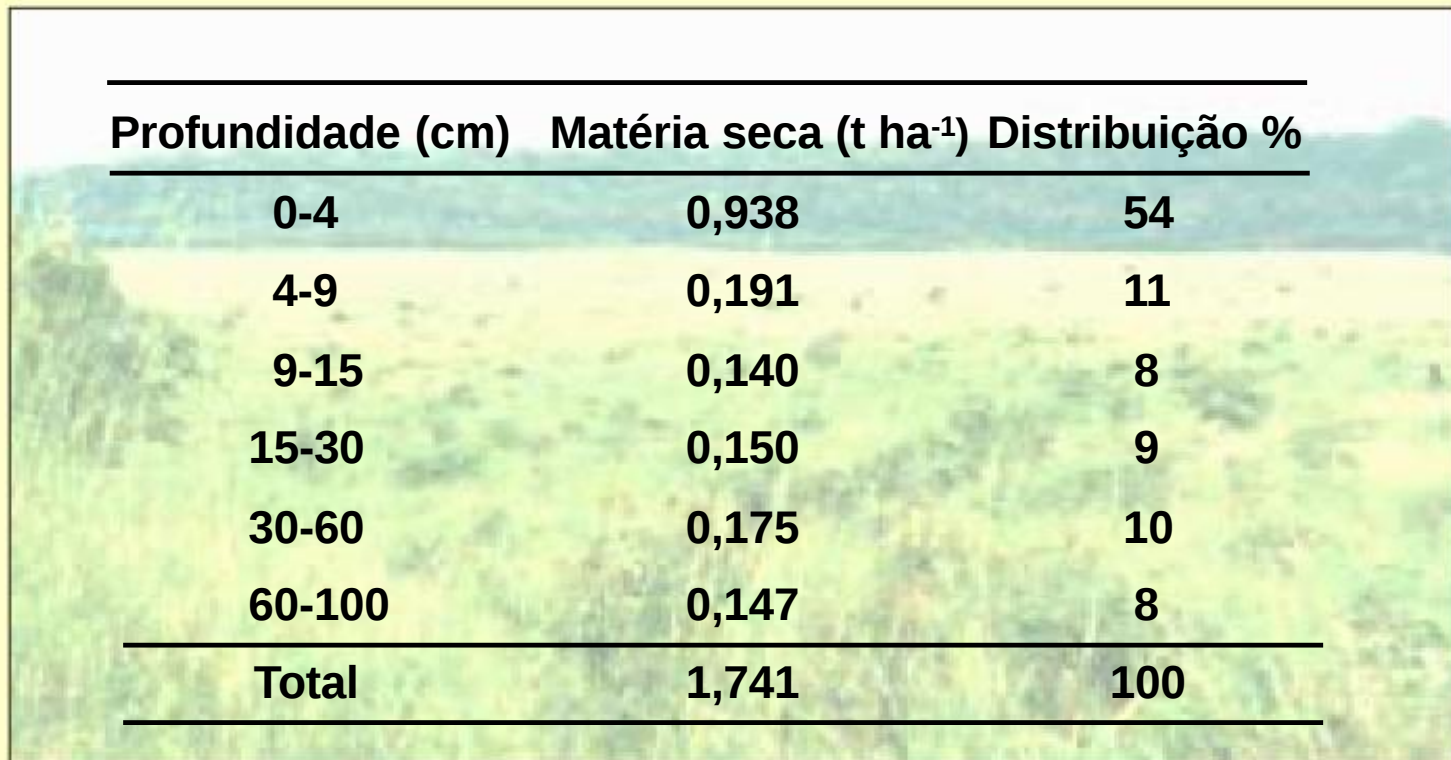
Raízes



Conceitos e constituintes da MOS

Produção de raízes pelas principais culturas tropicais

Brachiaria decumbens



Profundidade (cm)	Matéria seca (t ha ⁻¹)	Distribuição %
0-4	0,938	54
4-9	0,191	11
9-15	0,140	8
15-30	0,150	9
30-60	0,175	10
60-100	0,147	8
Total	1,741	100

FUNDAÇÃO MS, 2000

Avaliada após 16 anos de formação e pastejo contínuo

Conceitos e constituintes da MOS

Produção anual de biomassa de raízes com a liteira da floresta Amazônica

Floresta Amazônica	Total	N	P
	Mg ha⁻¹ ano⁻¹	kg ha⁻¹ ano⁻¹	
Biomassa aérea	7,6	121	2
Biomassa de raízes	8,0	190	9

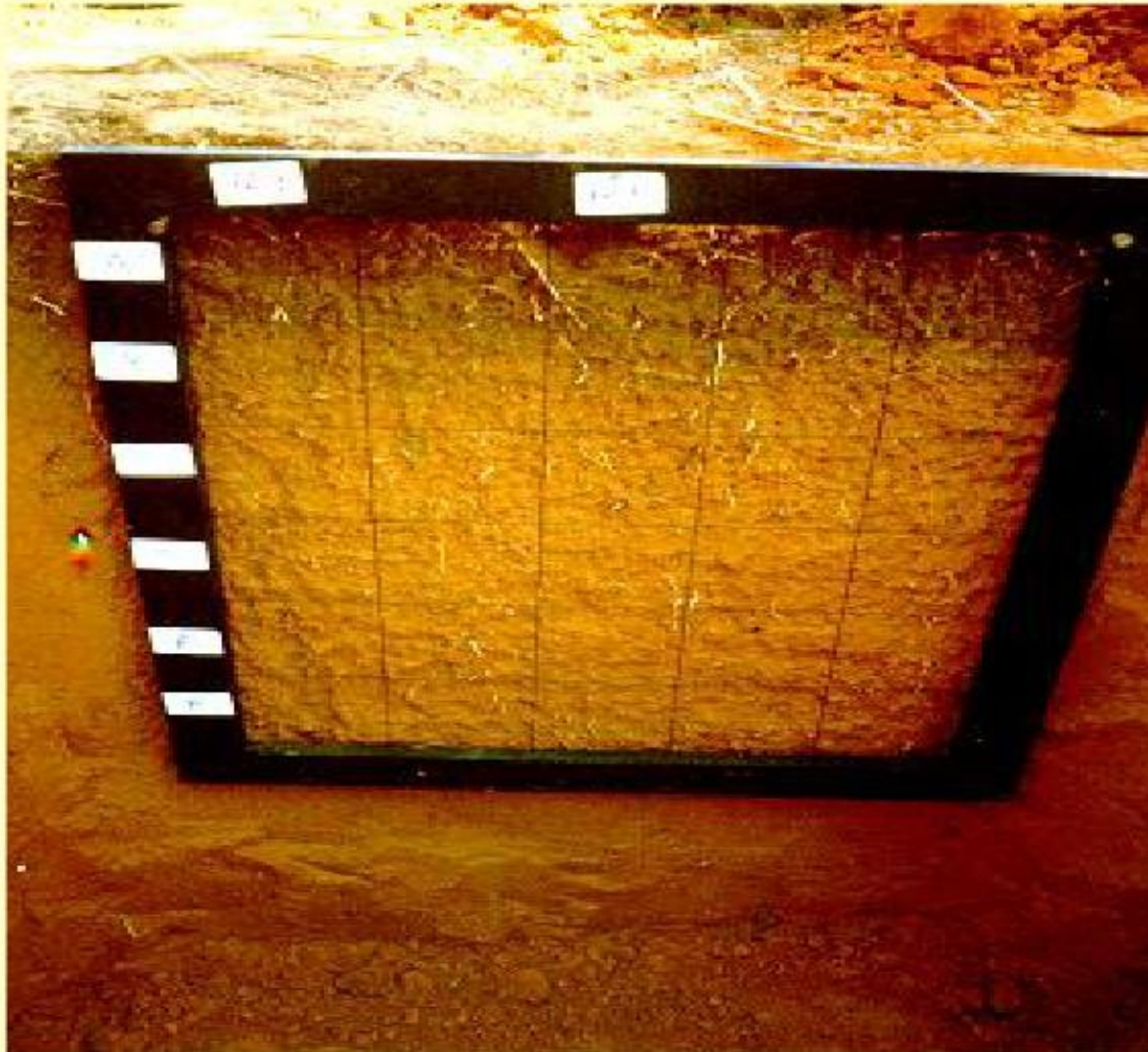


Biomassa de raízes



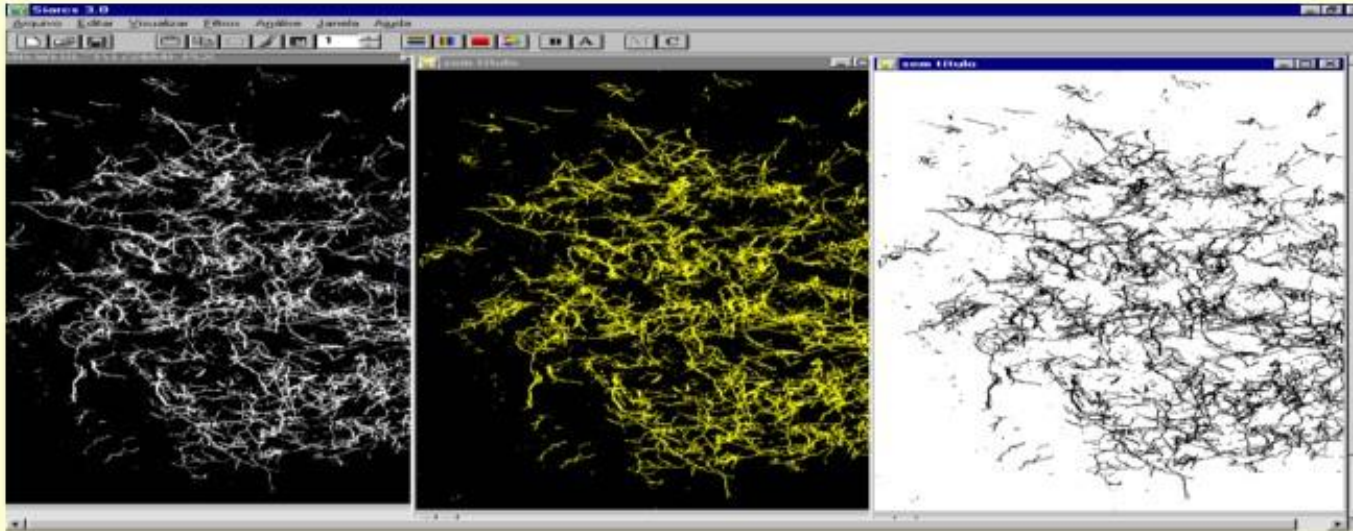
Conceitos e constituintes da MOS

Perfil do solo no campo - acúmulo da MOS na superfície

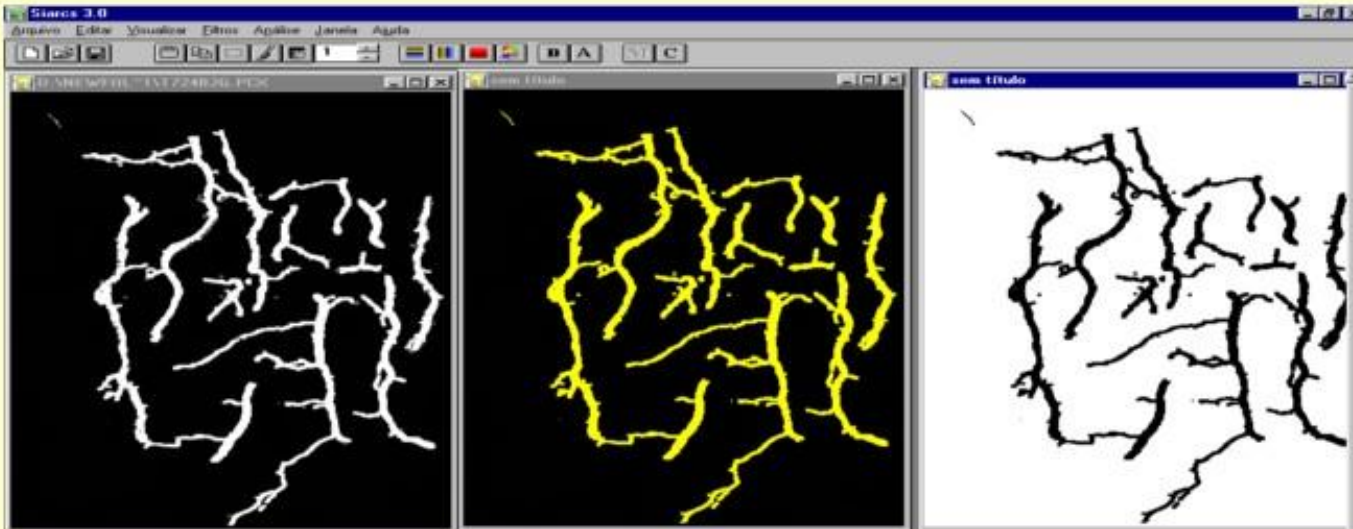


Conceitos e constituintes da MOS

Imagens processadas no programa SIARCS



**Raízes finas
“ scanner”**



**Raízes grossas
“scanner”**

CONSTITUINTES

Pluviolixiviados

Liteira, restos de culturas e resíduos orgânicos

Raízes e exsudatos

Organismos do solo

Substâncias não-húmicas

Substâncias húmicas

Conceitos e constituintes da MOS

Tamanho relativo

Mega fauna: > 20 mm

Macro fauna: 2 - 20 mm

Meso fauna: 100 μm - 2 mm

Micro fauna: < 100 μm



Conceitos e constituintes da MOS

Megafauna (> 20 mm)



Rato do campo

Vertebrados (ratos, toupeiras)

Classe Insecta

Ordem Hymenoptera Formicidae



Formigueiro



Macrofauna (> 2 mm)



Cupinzeiro



Cupim soldado

Classe Insecta
Ordem Isóptera

Conceitos e constituintes da MOS

C
l
a
s
s
e

I
n
s
e
c
t
a



Tesourinha

Ordem Dermaptera



Larvas de borboleta

Ordem Lepidoptera



Larva bezouro

Ordem Coleoptera

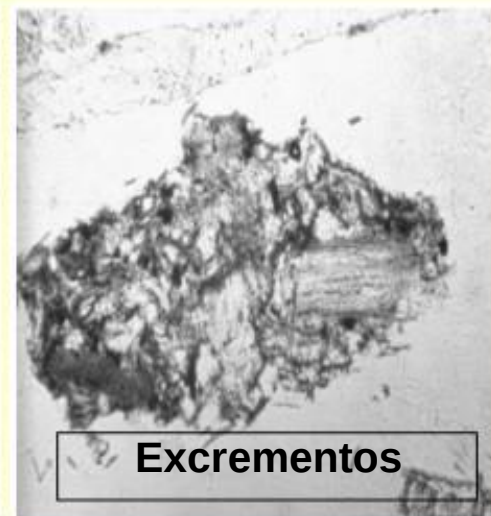


Larva de môsca



Excrementos

Ordem Diptera



Excrementos

Conceitos e constituintes da MOS



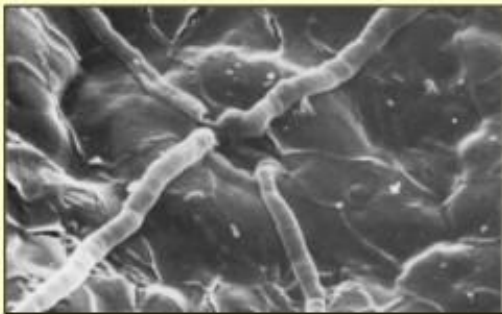
Classe Oligochaeta
Ordem Megascolecidae



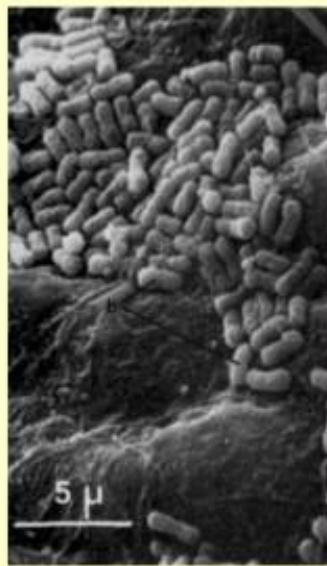
Conceitos e constituintes da MOS

Biomassa microbiana do solo

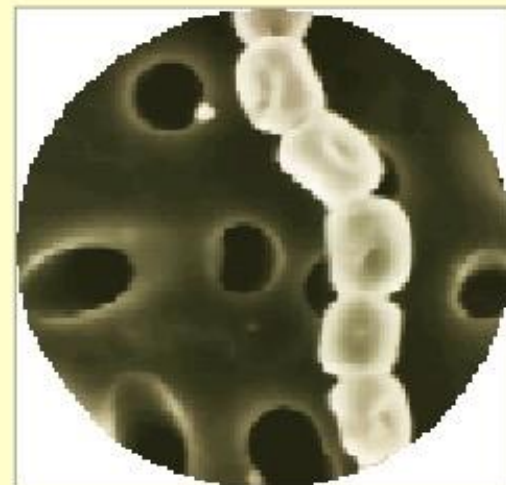
Definição: Organismos menores do que 0,1 mm, predominando fungos, bactérias e actinomicetos em número, massa e capacidade metabólica.



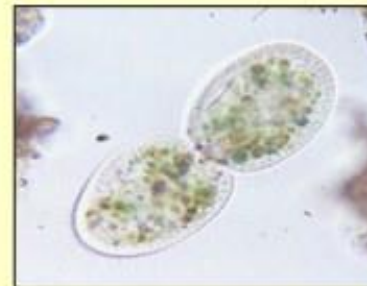
Fungos



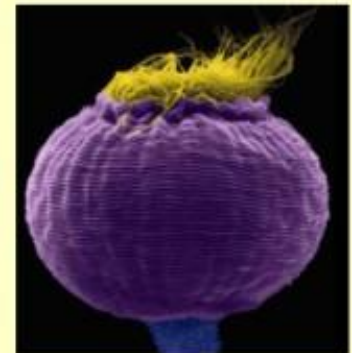
Bactérias



Actinomicetos



Protozoários



CONSTITUINTES

Pluviolixiviados

Liteira, restos de culturas e resíduos orgânicos

Raízes e exsudatos

Organismos do solo

Substâncias não-húmicas

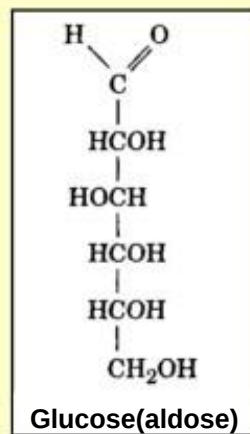
Substâncias húmicas

Conceitos e constituintes da MOS

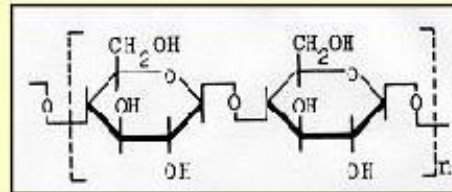
Substâncias não-húmicas

Definição: Compostos derivados de carboidratos, aminoácidos e proteínas, lipídeos, compostos fenólicos e lignina provenientes da decomposição de restos vegetais e animais no solo

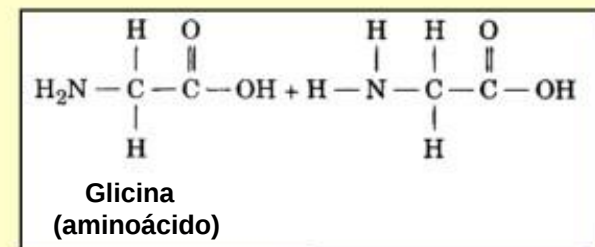
Carboidratos



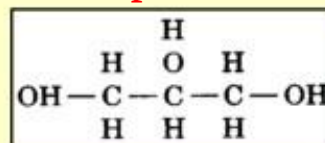
Celulose



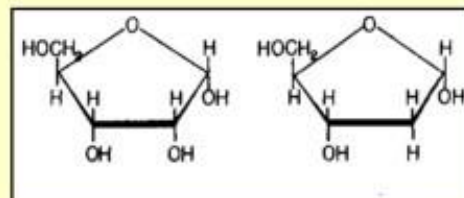
Aminoácidos



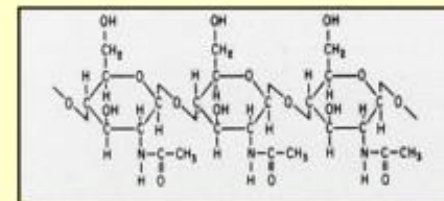
Lipídeos



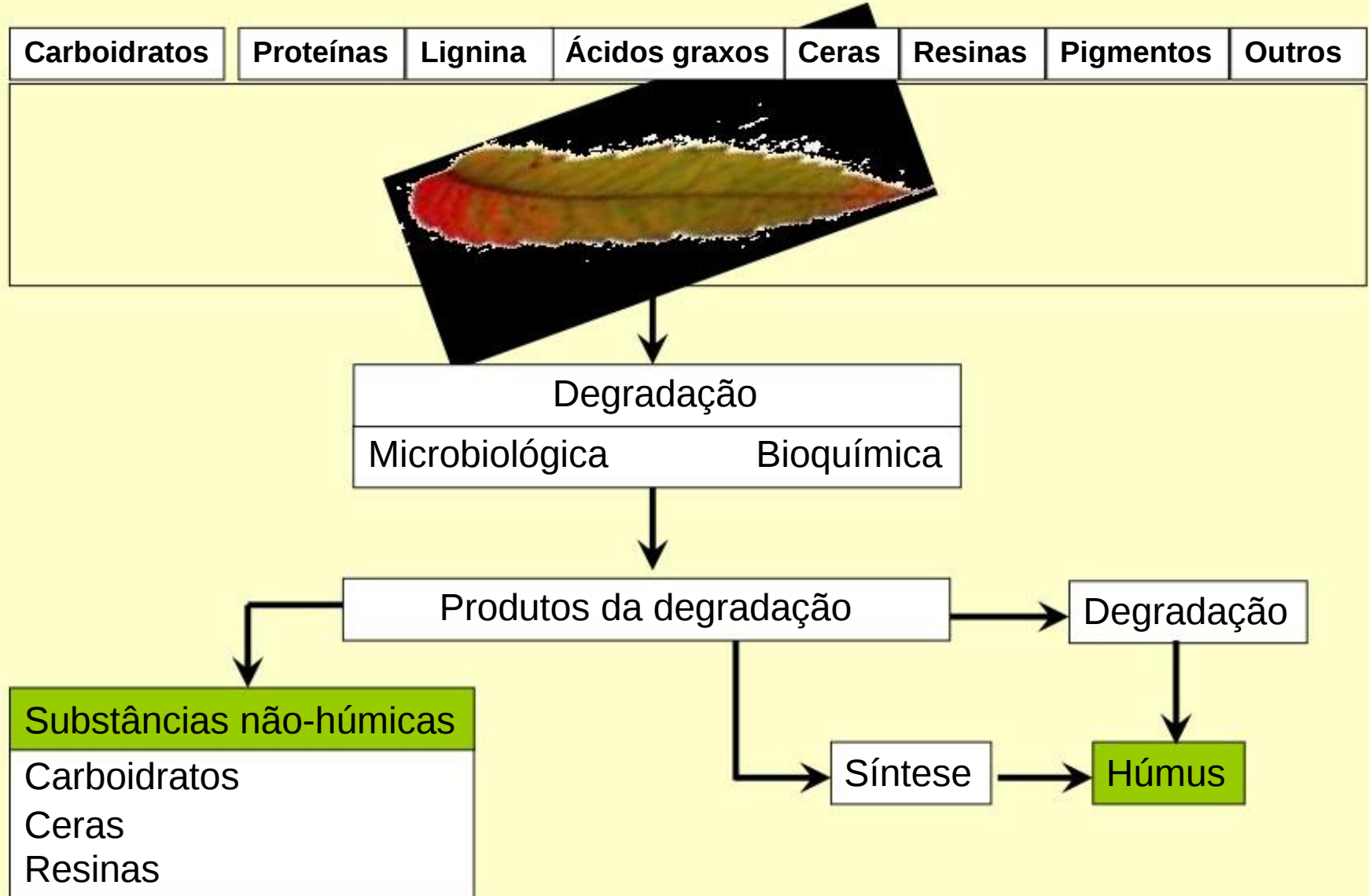
Ácidos nucleicos



Quitina



Conceitos e constituintes da MOS



CONSTITUINTES

Pluviolixiviados

Liteira, restos de culturas e resíduos orgânicos

Raízes e exsudatos

Organismos do solo

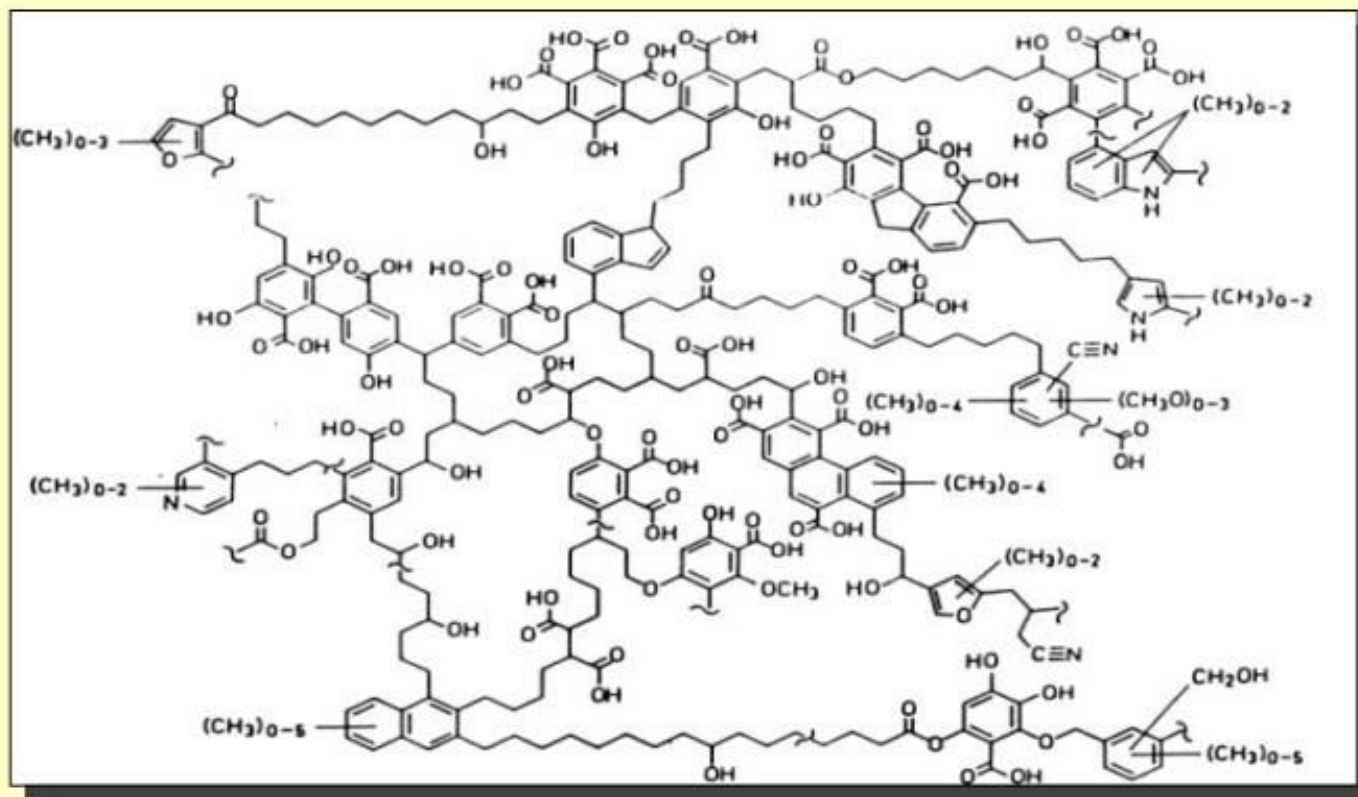
Substâncias não-húmicas

Substâncias húmicas

Conceitos e constituintes da MOS

Definição (antiga) de substâncias húmicas

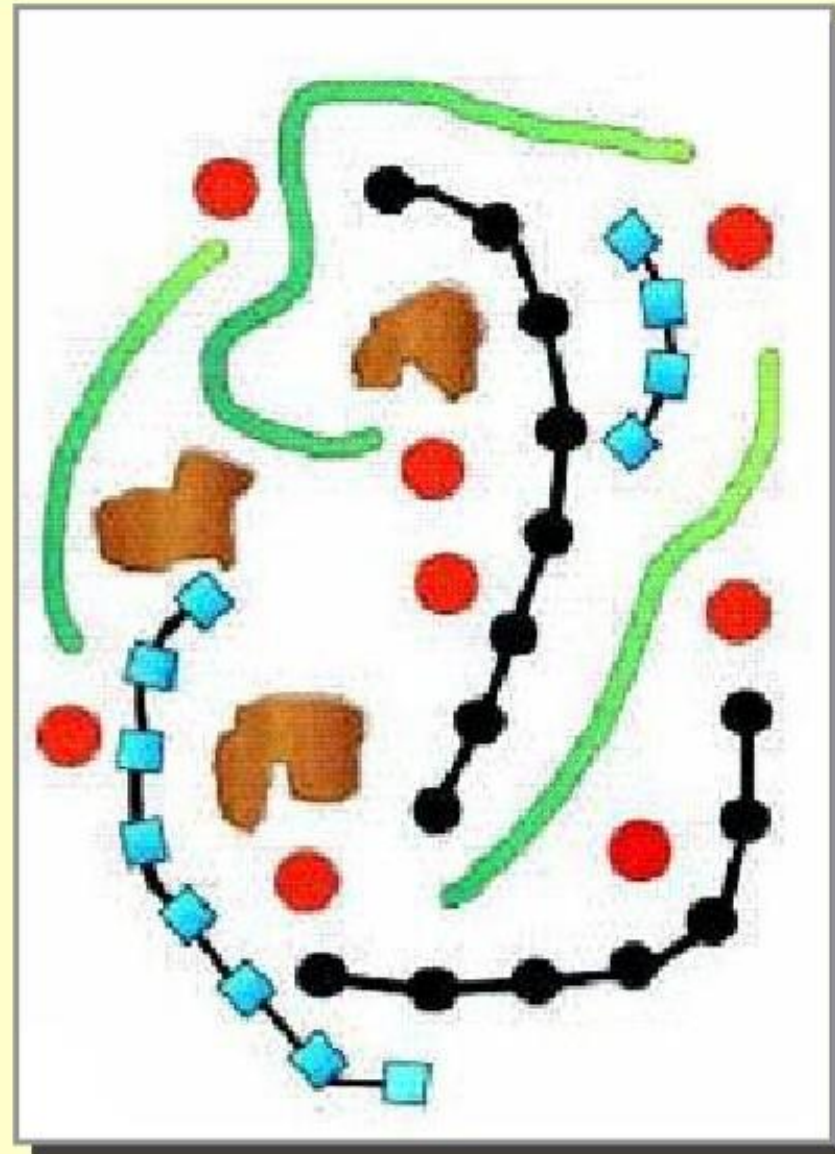
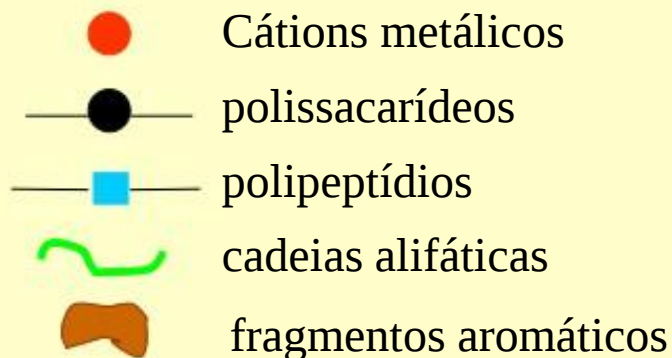
Mistura complexa e recalcitrante de substâncias orgânicas amorfas e coloidais de cor marrom ou marrom escuro, modificadas a partir de tecidos orgânicos ou de materiais orgânicos pelos organismos do solo (Stevenson, 1994)



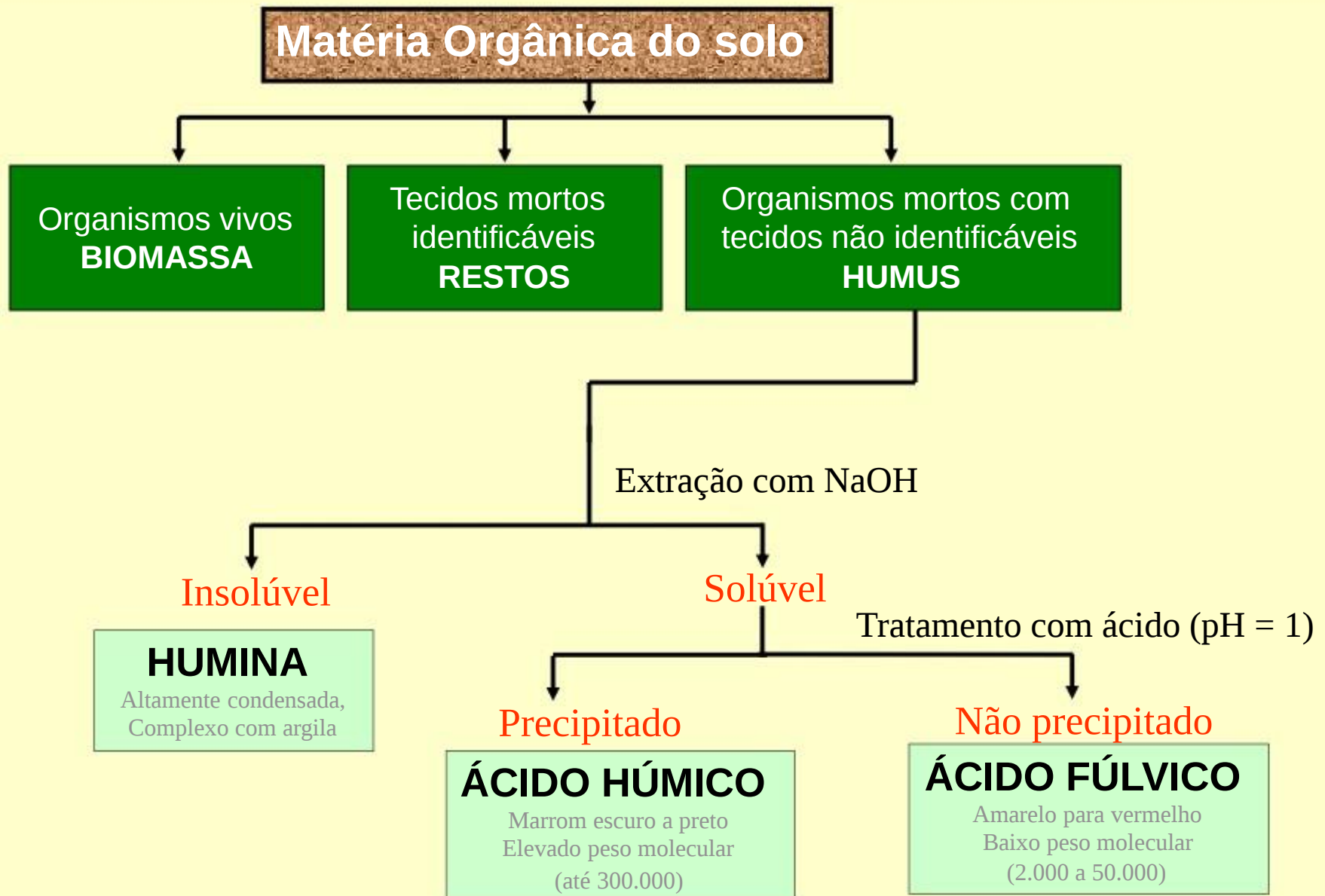
Conceitos e constituintes da MOS

Modelo Supramolecular

Associação de moléculas de pequeno tamanho estabilizadas por forças fracas: interações hidrofóbicas, pontes de H e forças de vander Waals (Piccolo, 1996)



Conceitos e constituintes da MOS

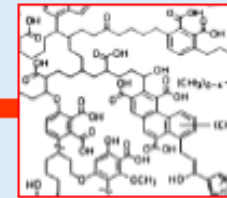




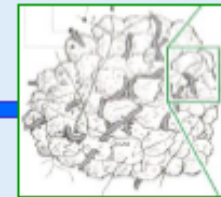
EFEITOS DA MATÉRIA ORGÂNICA NO SOLO

MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Propriedades químicas

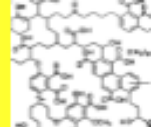


Propriedades físicas



Propriedades biológicas



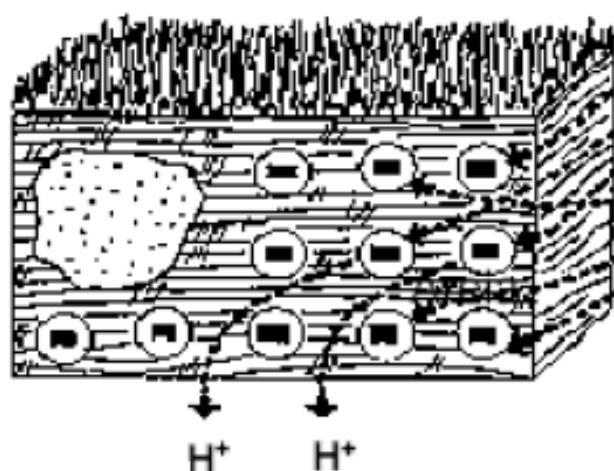


Capacidade de troca de cátions (CTC)

Indica a quantidade de cátions que o solo é capaz de reter e permutar por quantidades estequiométricas equivalentes de outros cátions, ou seja, é função da intensidade de cargas (-) que se manifesta nos colóides.

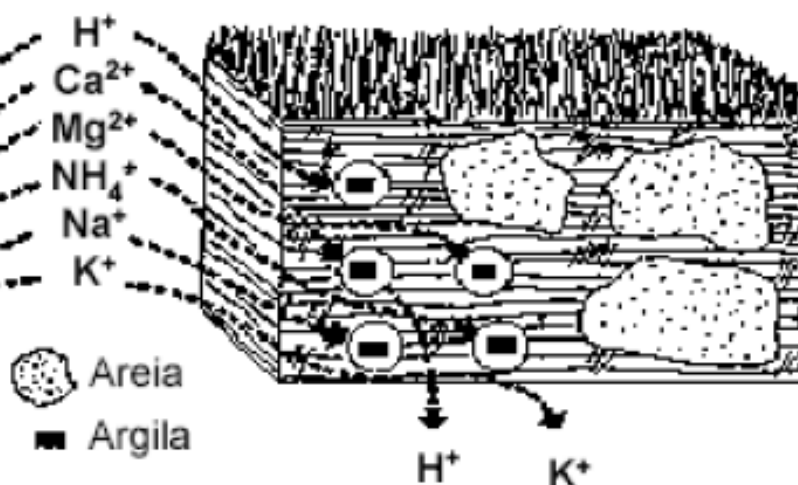
CTC 25

Maior teor de argila e MO,
mais posições para reter cátions



CTC 5

Menor teor de argila e MO,
poucas posições para reter cátions



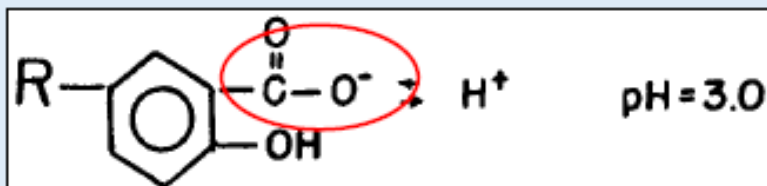
Areia
Argila

Propriedades químicas

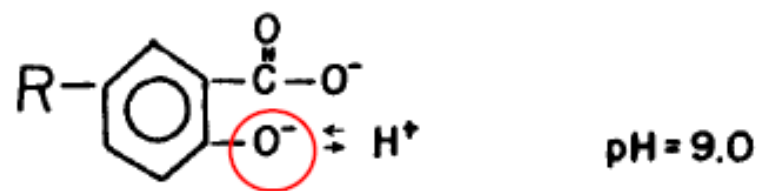
Cargas elétricas

As cargas negativas das substâncias húmicas surgem da dissociação de prótons dos grupos funcionais:

Carboxílicos



Fenólicos - OH



O desenvolvimento de cargas negativas das substâncias húmicas é dependente do pH do meio → cargas variáveis ou dependentes do pH

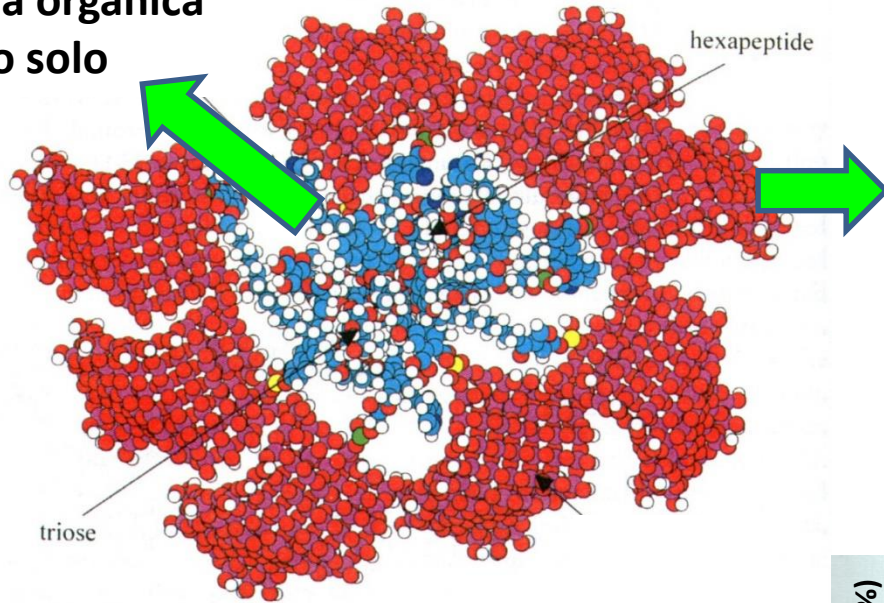
ÁREA SUPERFICIAL ESPECÍFICA (ASE) E CARGAS

Colóide	Tipo	ASE (m ² g ⁻¹)	Carga líquida (mmol _c kg ⁻¹)
Orgânico			
Substâncias húmicas	Orgânica	20-800	- 1.000 a - 5.000
Filosilicatos			
Montmorilonita	2:1	120	- 800 a - 1.500
Vermiculita	2:1	100	- 1.000 a - 2.000
Ilita	2:1	120	- 100 a - 400
Clorita	2:1	80	- 100 a - 400
Caulinita	1:1	20	- 10 a -150
Óxidos			
Gibsita	Al	140	+100 a - 50
Goethita	Fe	200	+ 200 a - 50

Fonte: Brady e Weil (2002)

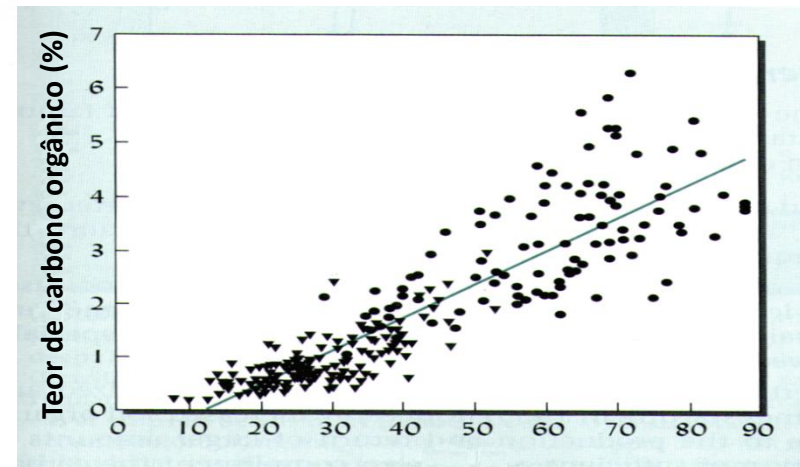
A ARGILA “PROTEGE” A MATÉRIA ORGÂNICA

Matéria orgânica
do solo



Argila
(filossilicatos)

Fonte: Schnitzer (2000)



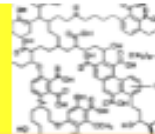
Silte e argila (%)

Fonte: Brady e Weil (2002)

EFEITO DA MATÉRIA ORGÂNICA NAS CARGAS DO SOLO

Solos		Contribuição relativa (%)	
	CEC (mmol _c kg ⁻¹)	Argila	M.O.S.
Clima temperado¹			
Espodossolos	55	4	96
Neossolos	56	19	81
Cambissolos	82	31	69
Chernossolos	130	34	66
Clima tropical²			
Argissolos	32	31	69
Argissolos	37	27	73
Nitossolos	244	38	62
Latossolos	39	26	74
Média		26	74

¹Yuan et al. (1967); ²Raij (1969)



MOS no fornecimento de nutrientes para as plantas superiores

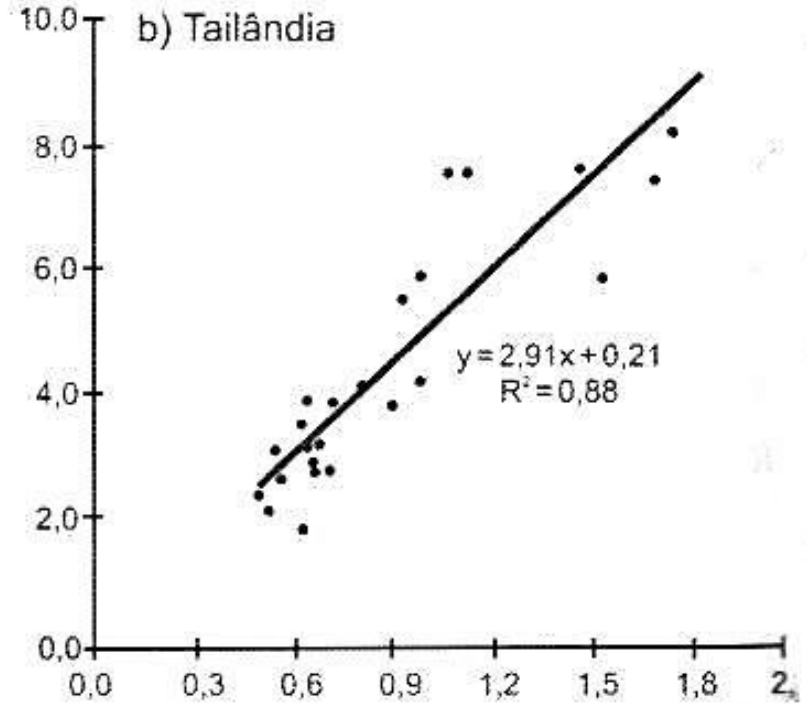
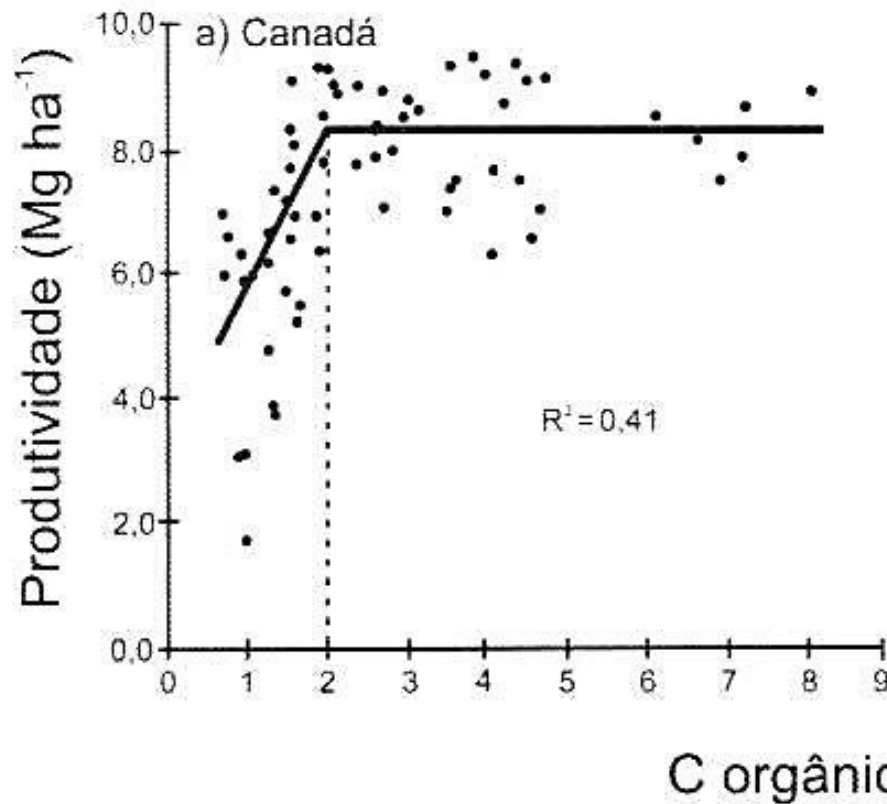
Decomposição da MOS

Processo de transformação das formas orgânicas dos elementos em formas iônicas através da ação das enzimas dos microrganismos

Nutriente	Taxa de mineralização	Quantidade mineralizada	
		kg ha ⁻¹ dia ⁻¹	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
N	0,03-3,00	0,6-6,0	100-1000
P	0,02-0,19	0,4-3,6	73-648
S	0,09-0,12	1,8-2,4	320-430

Fonte: Moreira e Siqueira (2006)

QUALIDADE DO SOLO PARA OS CULTIVOS



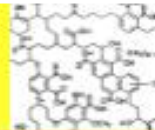
Fonte: Raij (1981)



Efeito das SHs no crescimento de plantas superiores

- Aumento na absorção de íons
- Aumento do número e crescimento de raízes finas
- Aumento na velocidade das reações enzimáticas do ciclo de Krebs
- Aumento no conteúdo de clorofila
- Efeitos sobre síntese proteica

Propriedades químicas



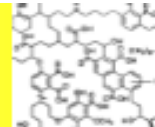
Efeito das SHs no crescimento de plantas superiores

Produtos comerciais sugerem que aplicação de SH melhoram o crescimento das plantas



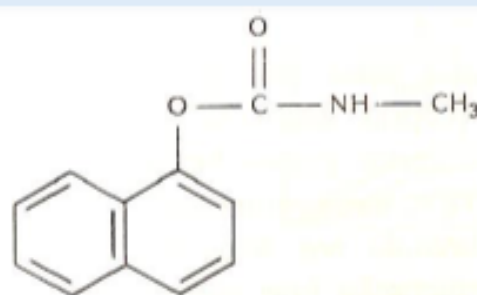
Alguns testes científicos não demonstram tal benefício

Motivo aparente: solos já contêm, naturalmente, quantidades efetivas de SH
(concentração em solução de solos em regiões tropicais 50-100 mg L⁻¹)



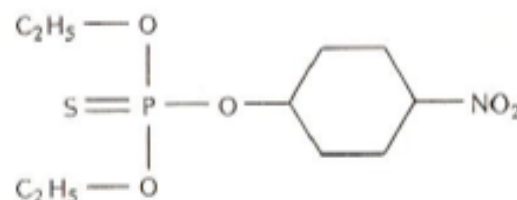
Xenobióticos

Definição: Compostos estranhos ao sistema biológico. Frequentemente são referidos a compostos resistentes à decomposição

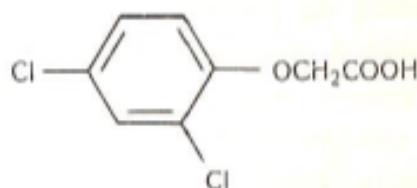


Carbaril

Inseticidas

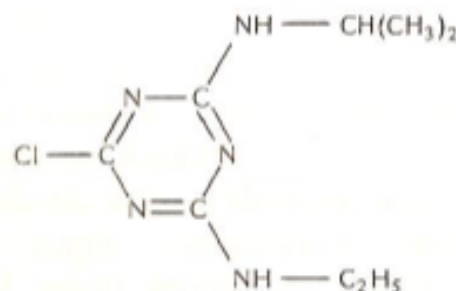


Paration



2,4-D

Herbicidas



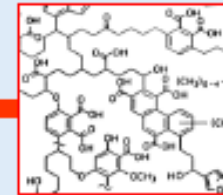
Atrazina

- Retenção de pesticidas e metais pesados
- Complexação de metais (Ex: Cu)

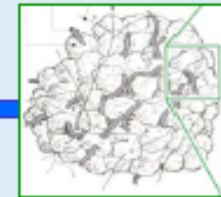


MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Propriedades químicas

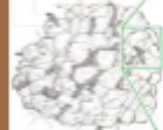


Propriedades físicas



Propriedades biológicas





Alguns atributos físicos relativos aos solos condicionados pela **MOS**

- ↑ Agregação
- ↑ Cor do solo
- ↓ Densidade global
- ↑ Grau de aeração
- ↑ Conteúdo de água no solo (umidade)
- ↑ Taxa de infiltração da água
- ↓ Escoamento superficial
- ...

Propriedades físicas



Propriedades	Observações	Efeito sobre o solo
Cor	A cor escura típica de muitos solos é causada por ação do húmus	Pode facilitar o aumento da temperatura

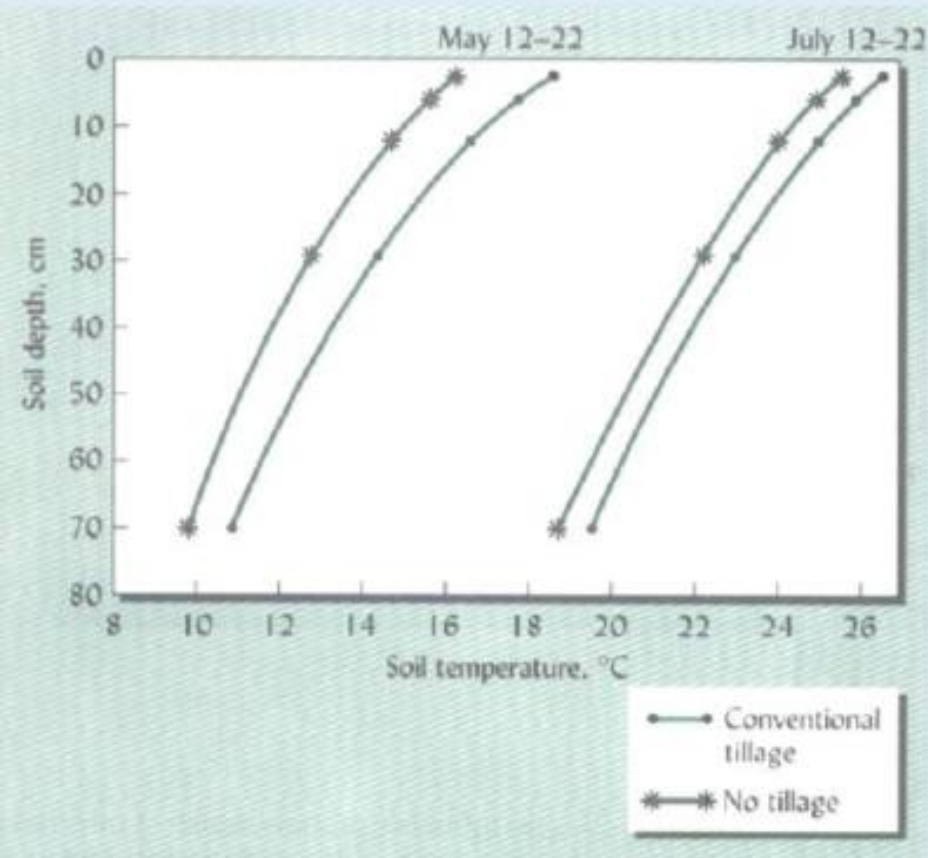


Perfil de região sub-tropical

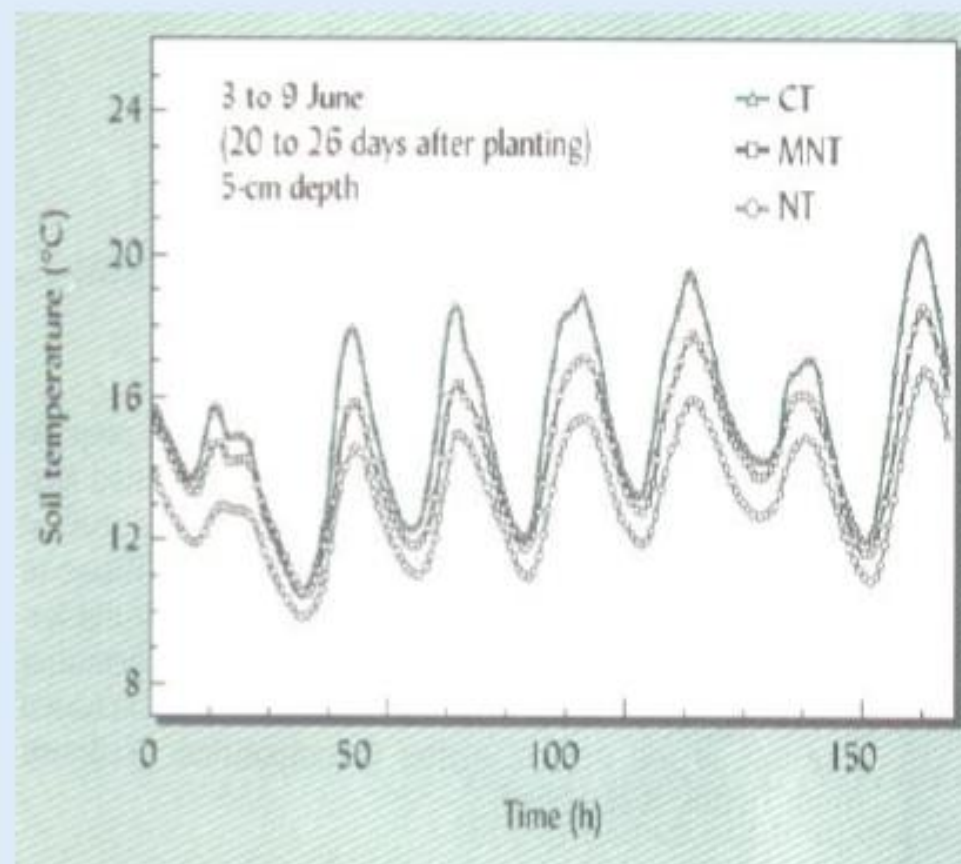


MO incorporada ao solo $\Rightarrow$ cor do solo $\Rightarrow$ aumento da temperatura

MO na superfície do solo (forma de restos culturais/liteira)



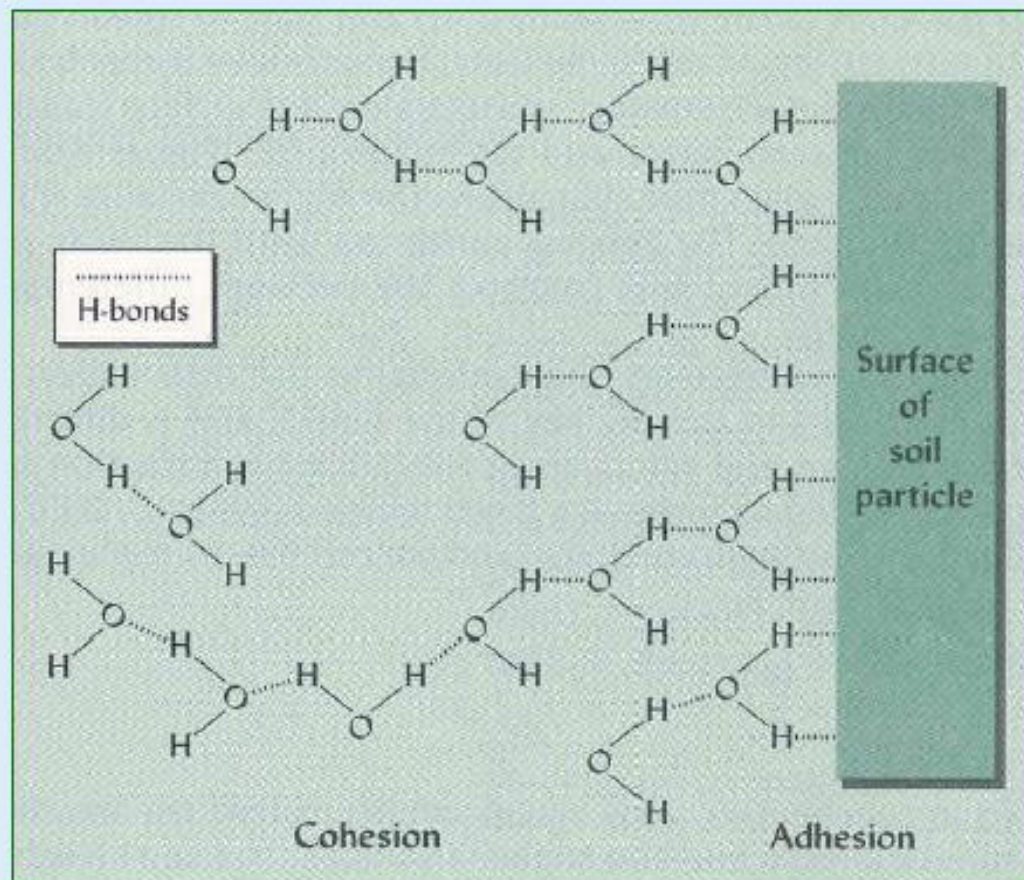
Reduzir temperatura do solo



Temperatura mais constante do solo



MOS pode reter 20 vezes seu peso em água



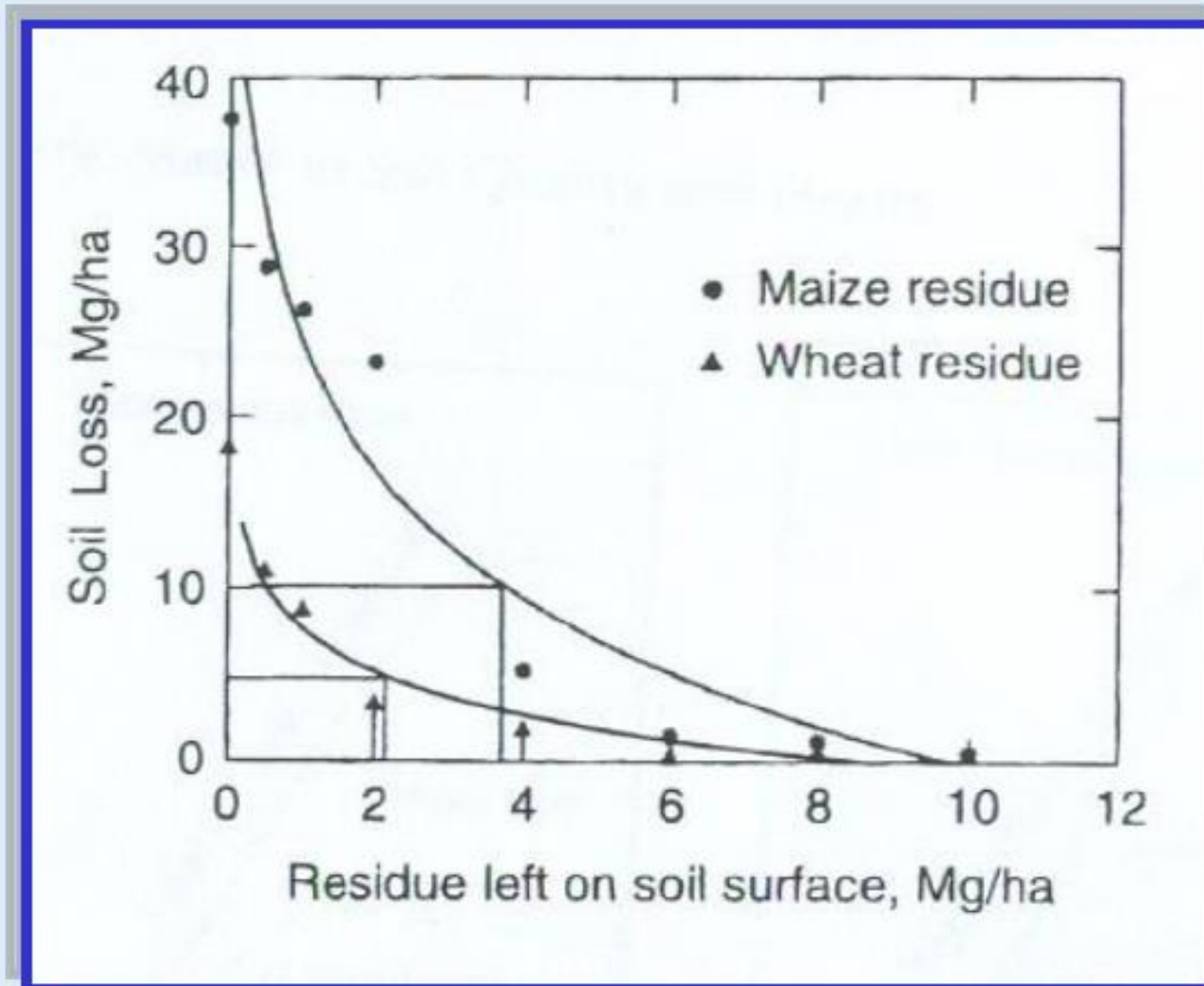


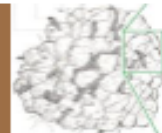
Alguns atributos físicos relativos aos solos condicionados pela **MOS**

- ↑ Agregação
 - ↑ Cor do solo
 - ↓ Densidade global
 - ↑ Grau de aeração
 - ↑ Conteúdo de água no solo (umidade)
 - ↑ Taxa de infiltração da água
 - ↓ Escoamento superficial
 - ...
- } ↓ **Erosão**



Restos vegetais sob a superfície do solo: impacto da gota de chuva





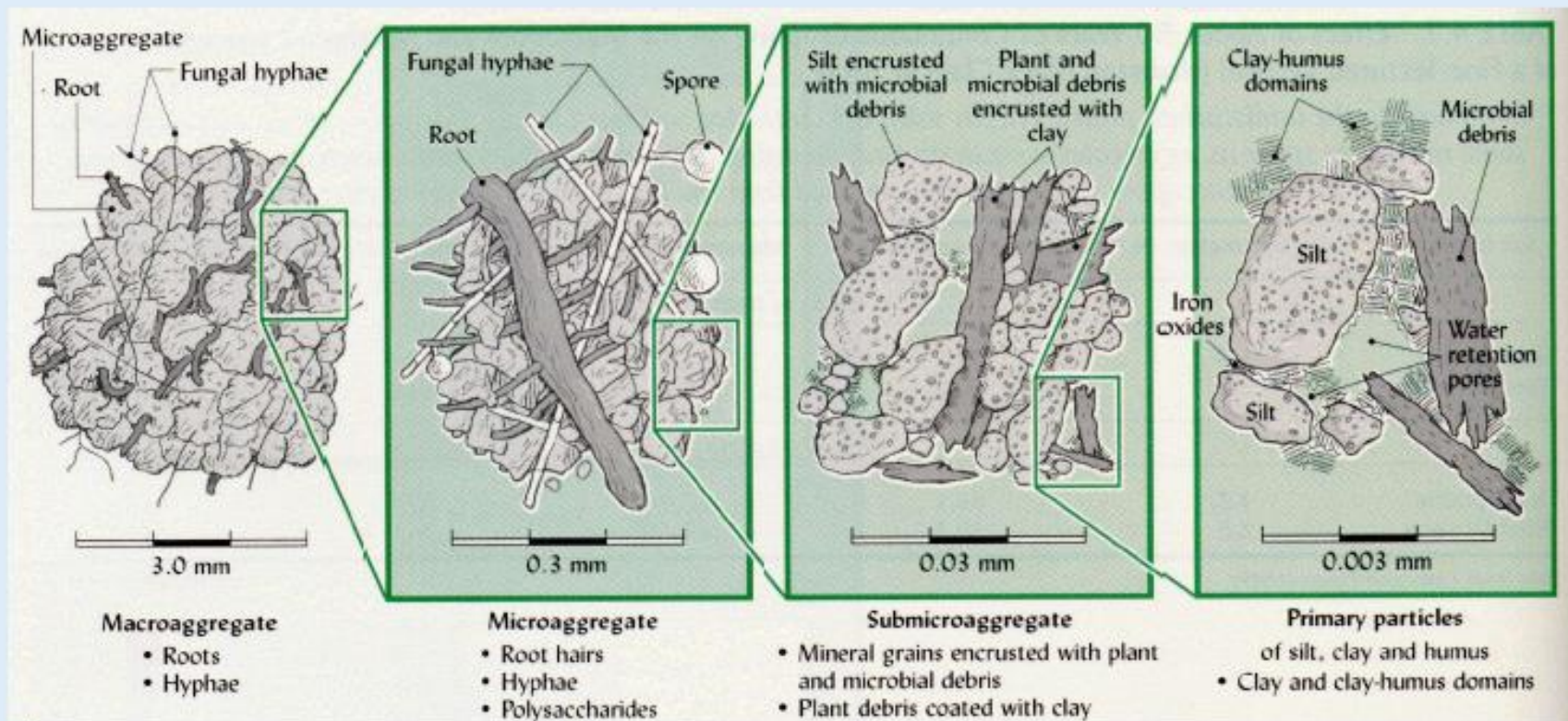
Alguns atributos físicos relativos aos solos condicionados pela **MOS**

- ↑ **Agregação**
- ↑ **Cor do solo**
- ↓ **Densidade global**
- ↑ **Grau de aeração**
- ↑ **Conteúdo de água no solo (umidade)**
- ↑ **Taxa de infiltração da água**
- ↓ **Escoamento superficial**
- ...



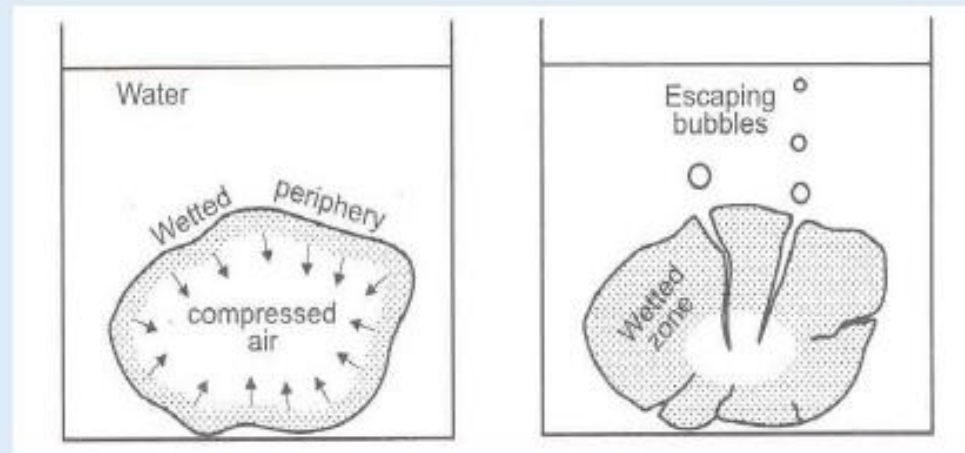
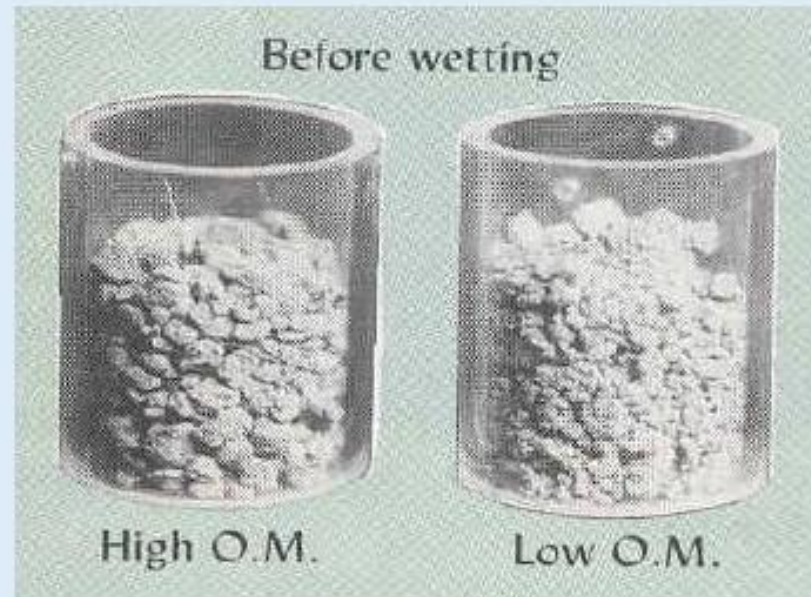
Agregados

Definição: são conglomerados de minerais do solo (partículas de argila, areia fina e silte), resíduos vegetais e microbiano, matéria orgânica amorfa fortemente ligada a argila



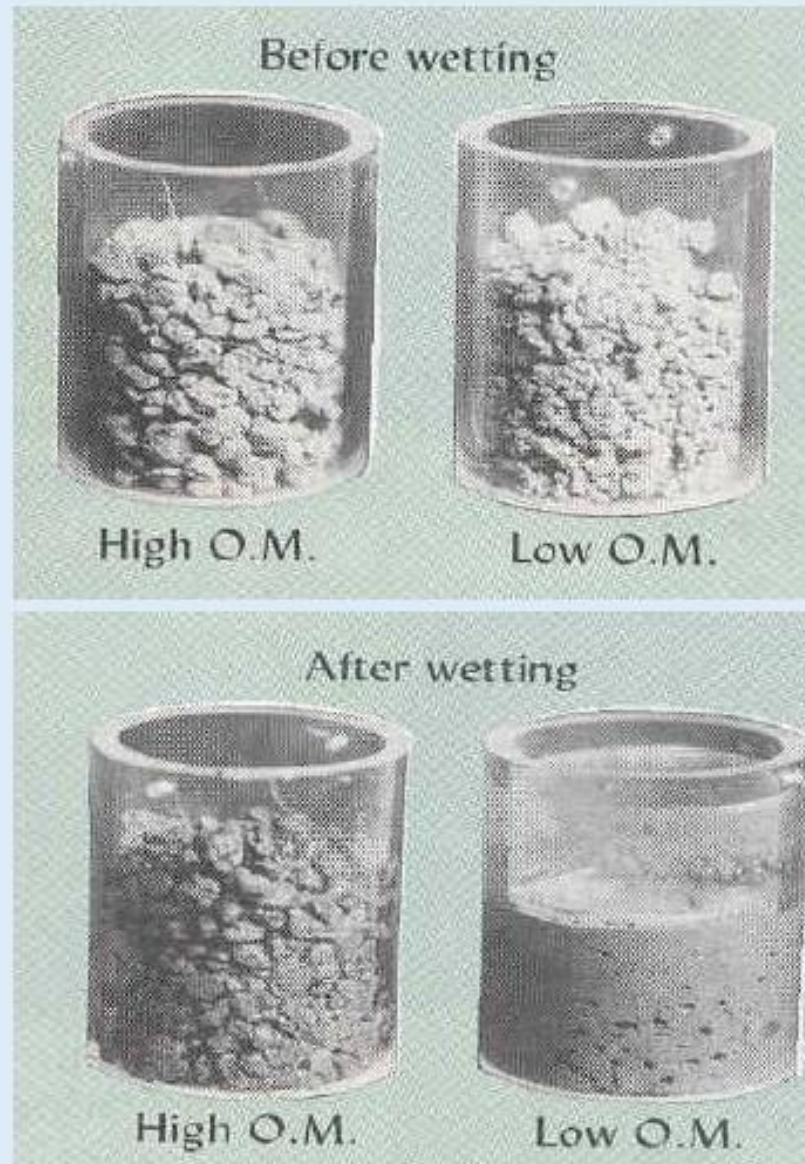


Rompimento dos agregados



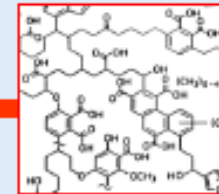


Rompimento dos agregados

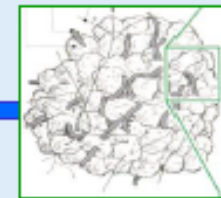


MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Propriedades químicas



Propriedades físicas

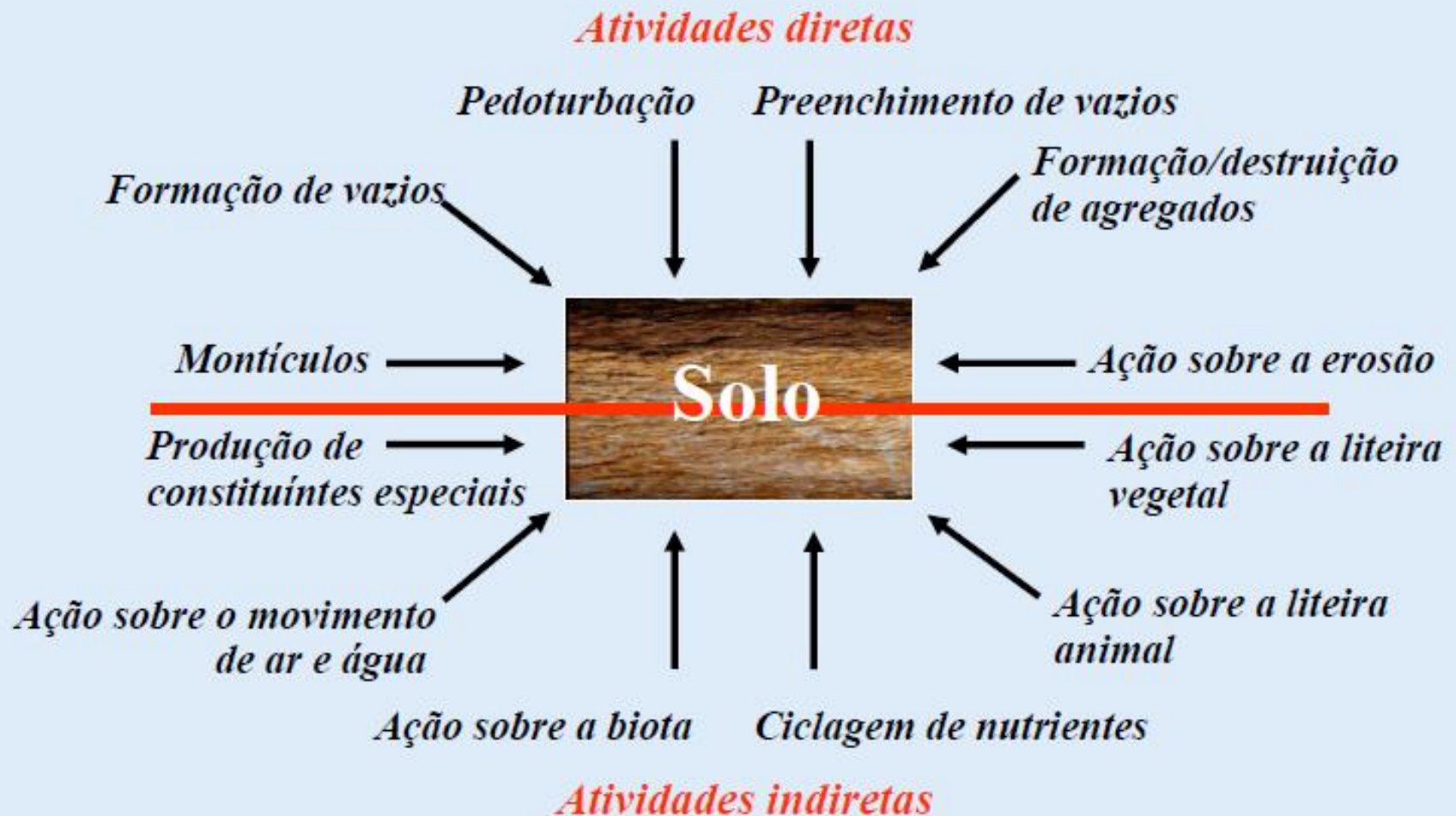


Propriedades biológicas





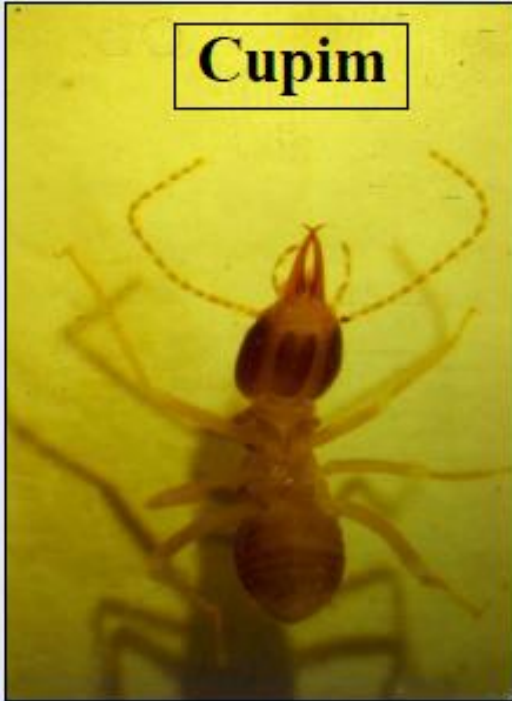
Funções dos organismos no solo



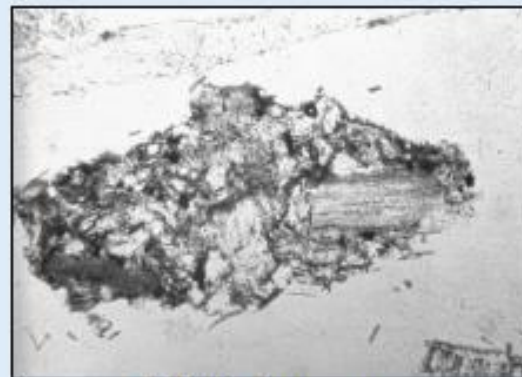


Exemplos de funções: macrofauna

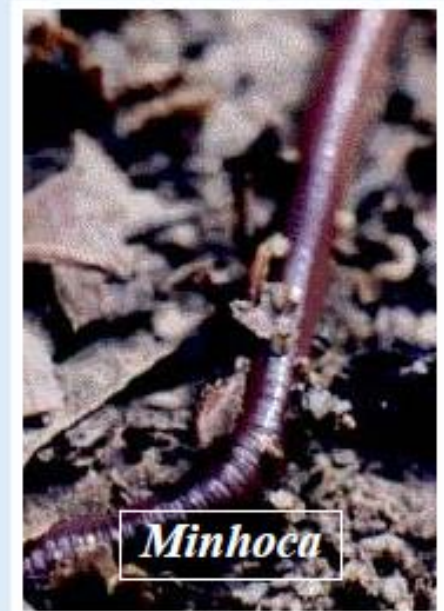
Cupim



Folhas fragmentadas por cupins



*Início formação
agregados por minhoca*

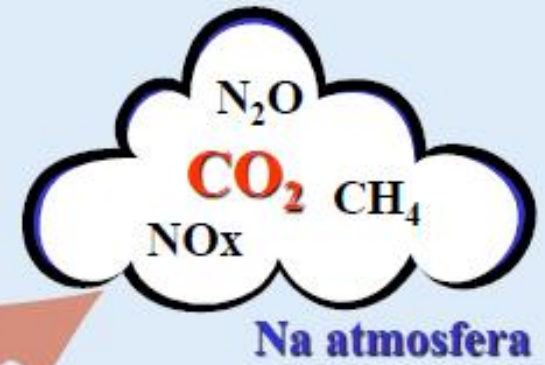


Minhoca

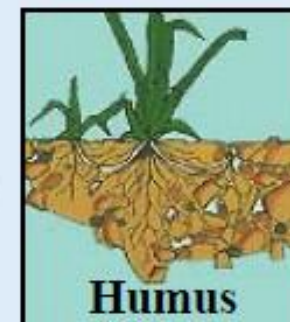
Propriedades biológicas



**Biomassa
microbiana**

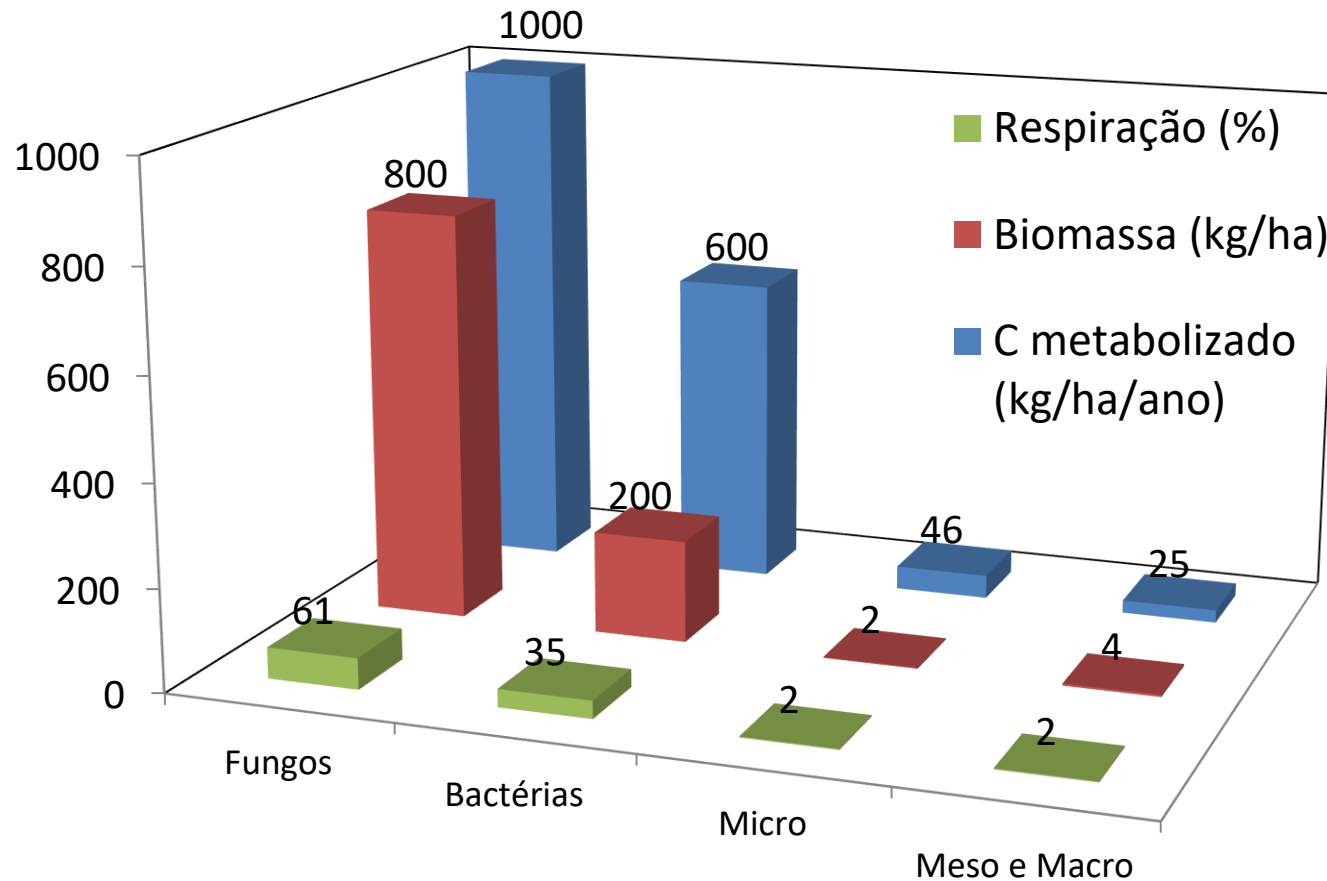


No solo





CONTRIBUIÇÃO DOS COMPONENTES DA BIOTA DO SOLO

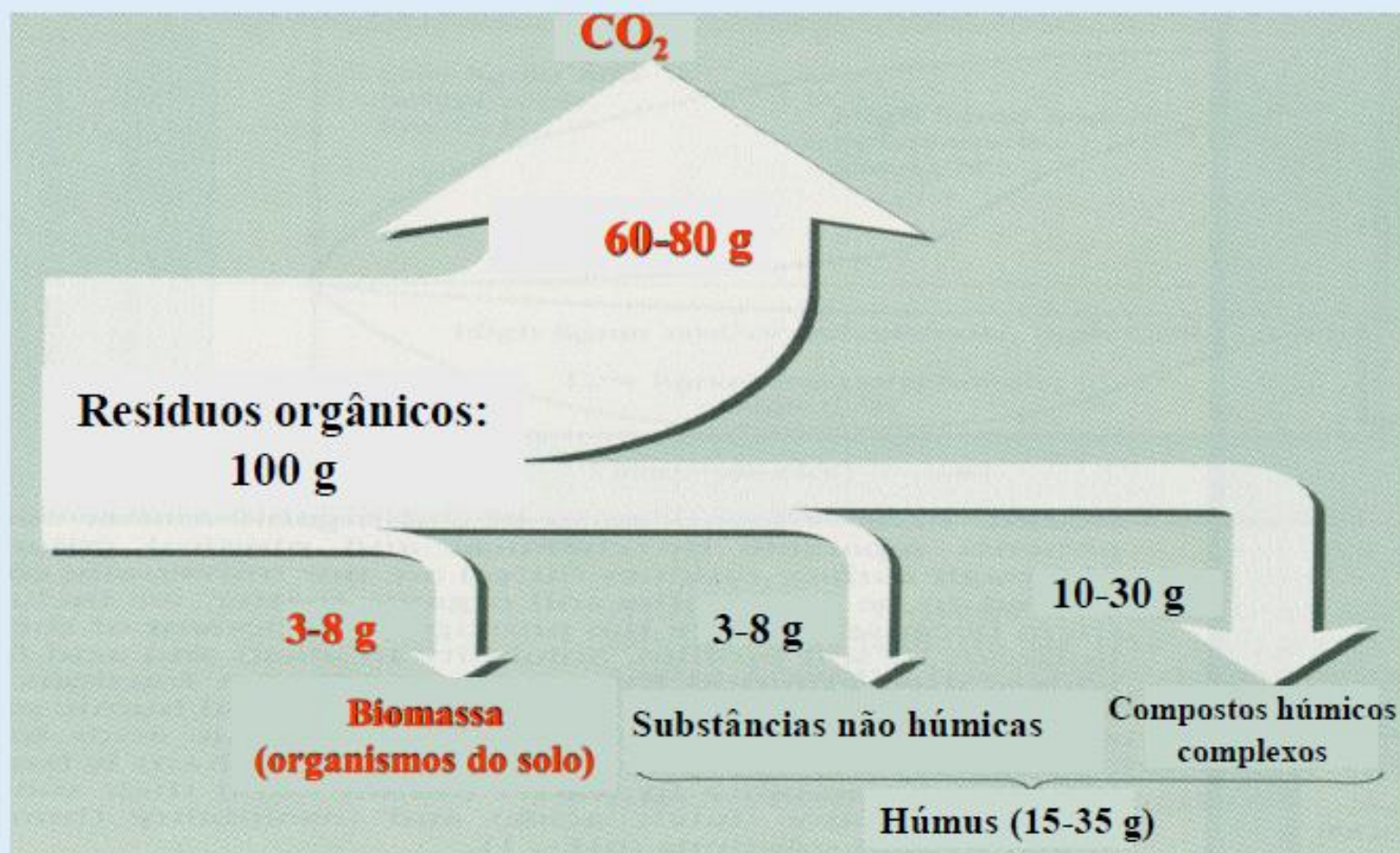


Fonte: Persson et al. (1980)



Balanco do carbono nos agrossistemas

Distribuição relativa dos produtos de decomposição de resíduos vegetais incorporados ao solo

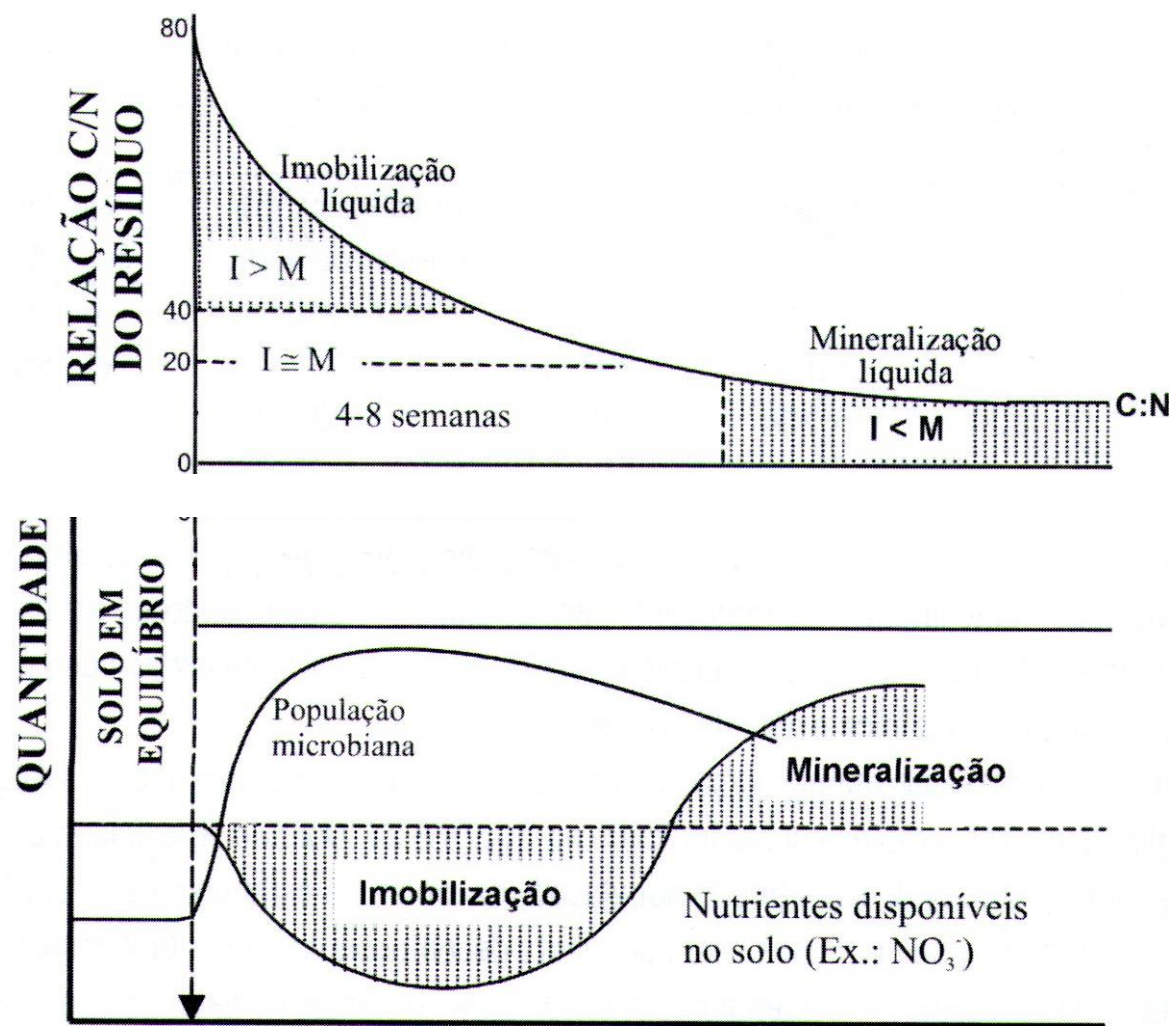


FATORES QUE INFLUENCIAM NA DECOMPOSIÇÃO

- TEMPERATURA
- UMIDADE
- pH
- COMUNIDADE MICROBIANA
- QUALIDADE DO SUBSTRATO
 - RELAÇÃO C/N
 - RELAÇÃO C/P
 - RELAÇÃO C/S



RELAÇÃO C/N vs IMOBILIZAÇÃO/MINERALIZAÇÃO DO N



Fonte:
Stevenson (1986)

Adubação orgânica

DEJETOS DE ANIMAIS

Suínos

Aves

Bovinos





NPK



MOS



Carne



Ciclagem
Nutrientes



Suínos

Dejeto de Animais

Distribuição	Número de animais	FR %
Brasil	39.306.718	100,00
Santa Catarina	7.968.116	20,27
<i>Oeste Catarinense</i>	6.003.173	15,27
Rio Grande do Sul	5.677.515	14,44
Paraná	5.448.536	13,86
Minas Gerais	5.014.334	12,76
Outros Estados	15.198.217	38,67

MAPA(2013)

Sul do Brasil = 48,6%



CERETTA et al. (2010);
GIROTTTO et al. (2010); (2013);
SCHERER et al. (2010);
SEIDEL et al. (2010)
CASSOL et al. (2012);
BASSO et al. (2012);
BRUNETTO et al., (2012);
GUARDINI et al. (2012);
LOURENZI et al. (2012); (2013);
RAUBER et al. (2012);
VEIGA et al. (2012)

Influência da aplicação de dejetos
de suíno nas propriedades
químicas do solo

Recomendações de dejetos de animais

Aspecto econômico

○ Cálculo para granja com 1.000 suínos:



– Um suíno produz em média **8,6 L dia⁻¹ de DLS**

$$\underline{(1.000 \times 8,6 \times 365) / 1.000 = 3.139 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1} \text{ de DLS}}$$

Concentração de N no DLS = **2,8 kg m⁻³ de N**

$$3.139 \text{ m}^3 \times 2,8 \text{ kg m}^{-3} = 8.789 \text{ kg de N} \Rightarrow 19.531 \text{ kg ou } \mathbf{19,53 \text{ ton de uréia } \text{ano}^{-1}};$$

$$19,53 \text{ ton} \times 1200 \text{ R\$ ton}^{-1} = \underline{\mathbf{R\$ 23.436,00 \text{ ano}^{-1}}}.$$

Exemplos... em uma propriedade...

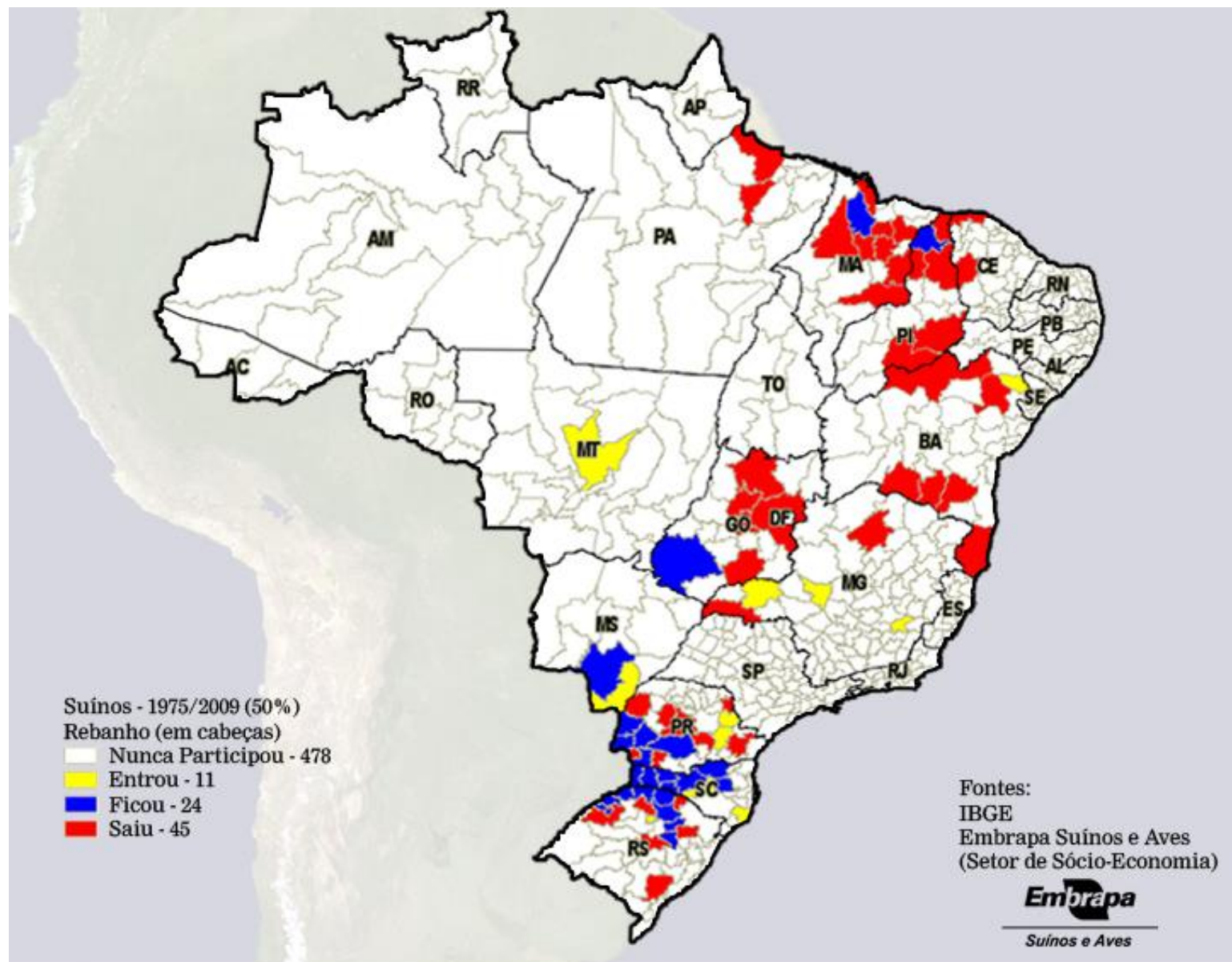
- As fontes orgânicas podem ser usadas isoladamente ou complementar a adubação mineral



- ...com 200 suínos

- 1,2 a 4,5m³/dia = 430 a 1.600m³ ano⁻¹ de dejetos
- 2.400 a 3.000kg de N = 105 a 130 sc de URÉIA
- 1.600 a 2.000kg de P= 75 a 95 sc de SFT
- 1.000 a 1.400kg de K= 35 a 45 sc de KCl

Dinâmica da produção de suínos no Brasil



BIODIGESTOR DE LONA PLÁSTICA



Quem deve usar:

Agricultura orgânica, laticínios, criadores de animais, frigoríficos.

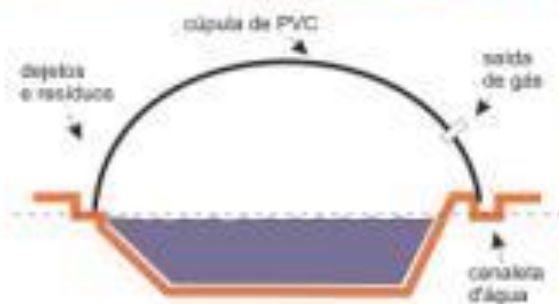
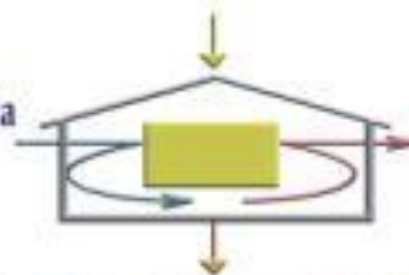
De forma correta se produz adubo para a agricultura orgânica e a geração da mais barata fonte de energia - O Biogás



**Fabricado sob
projeto específico**



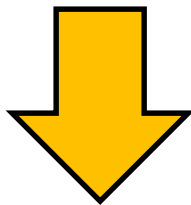
Da natureza à natureza
para o bem estar do
homem.



O sistema de transformação ou compressão do gás deverá ser adquirido a parte

Aves

BRASIL = 3º maior produtor mundial
Maior exportador mundial



Cama Aviária: (“cama” + fezes)

Dejeto de Animais



Maior concentração de N,P,K

- ✓ Menor umidade
- ✓ Mistura de fezes líquidas e sólidas;
- ✓ Alimentação com concentrados

Aves

Influência nas propriedades químicas do solo

Aumento dos teores dos nutrientes

- ✓ Em geral os trabalhos apontam para incremento de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn...;
- ✓ Aumentos nos valores de pH e reduz Al;
- ✓ Promove incrementos no C org. em superfície.



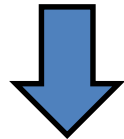
SCHERER e NESI (2009);
CARVALHO et al. (2011);
SILVA et al. (2011);
VALADÃO et al. (2011);
PINTO et al. (2012)



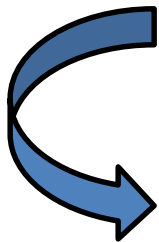
-com 1 aviário
 - 100 a 120 t ano⁻¹ de cama
 - 155-190 sc de URÉIA
 - 190-230 sc de SFT
 - 100-120 sc de KCl

Bovinos

Dejeto utilizado em
larga escala nas áreas
de pastagens!



Em muitos casos a única
adubação aplicada no solo



Aumento dos teores dos
nutrientes

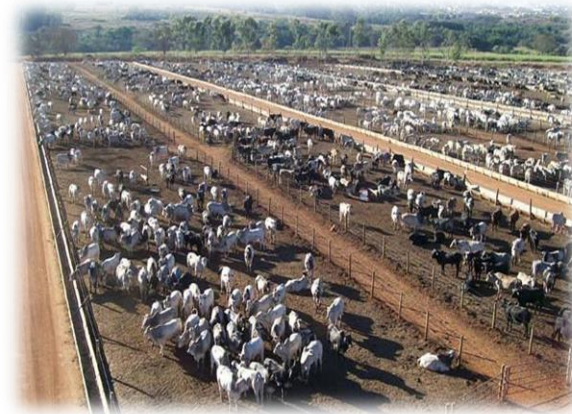
Dejeto de Animais



“A pasto”

X

“Confinado”



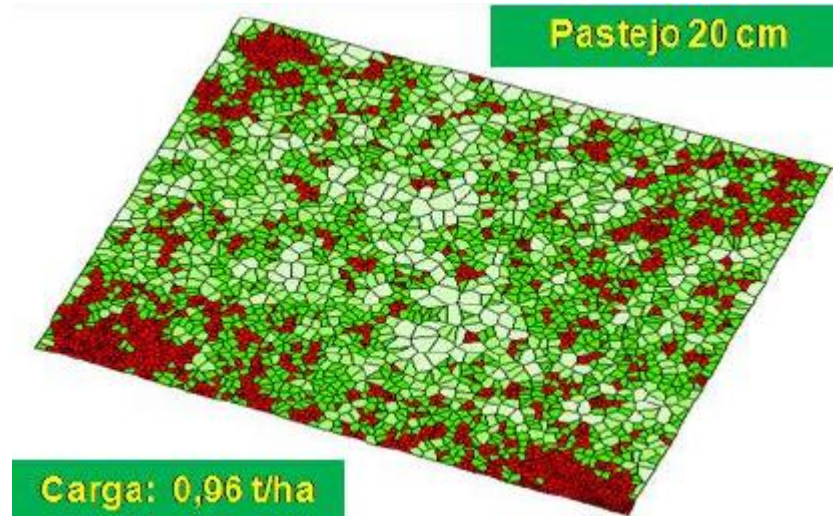
Galvão et al. (2008)
Silva et al. (2008)

Erthal et al. (2010)
Costa Jr et al. (2013)

Bovinos

A heterogeneidade de distribuição do esterco promove aumento da **variabilidade espacial** dos atributos químicos do solo

Dejeto de Animais

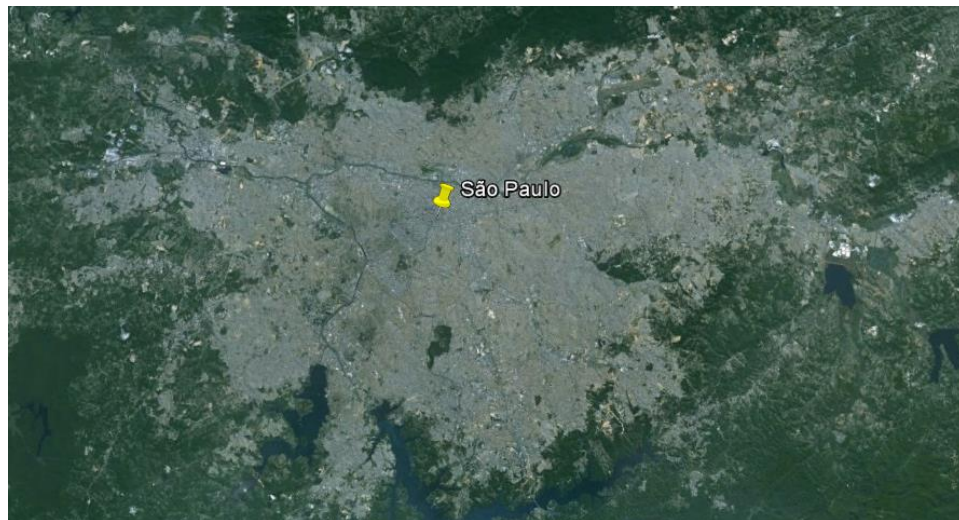


Origem Urbana

COMPOSTO DE LIXO URBANO



Lixo Urbano



11,37 milhões de habitantes

Aumento da População



Aumento do lixo
produzido



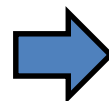
Brasil

378 kg hab⁻¹ ano⁻¹

Resíduo Sólido Urbano

Inorgânico

Orgânico



Compostagem

Lixo Urbano



Após estabilizar, tem sido utilizado como adubo orgânico na agricultura



**Composição
VARIÁVEL**

Aumento da CTC, C org., N total, P, S, Ca, Mg, K e Na, e redução da acidez potencial e trocável do solo.



**Exige
Monitoramento!**

Contaminação com nitrato;
metais pesados;
microrganismos patogênicos;
Compostos orgânicos de
difícil degradação

ABREU JR et al. (2002); (2005);
OLIVEIRA et al. (2002);
MANTOVANI et al. (2005); (2006);
TEDESCO et al. (2008)
SILVA et al. (2008);
KROB et al. (2011)



COMPOSTO - lixo urbano

COMPOSTADORES - resíduos agrícolas



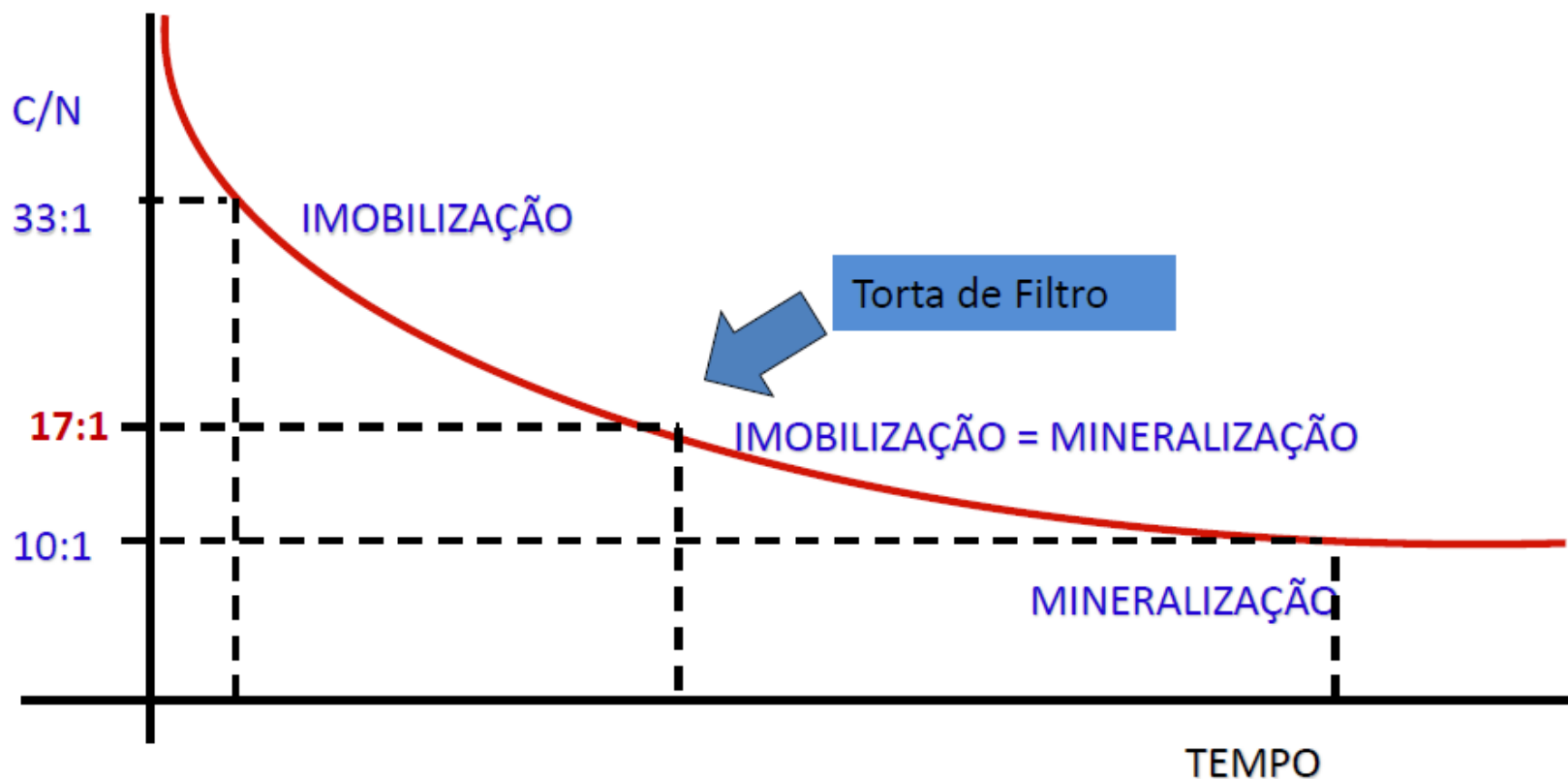
TORTA DE FILTRO

Origem Agroindustrial



PROCESSO DA COMPOSTAGEM

COMPORTAMENTO DA RELAÇÃO C:N



Materiais orgânicos	Relação C:N
Microrganismos do solo	8:1
Matéria orgânica do solo	10:1
Lodo de esgoto	9:1
Resíduos de alfafa	16:1
Dejeto bovino	20:1
Palha de milho	60:1
Palha de cana	100:1
Casca de árvore	200:1
Madeira	625:1

Fonte: Tisdale et al., 1993

Origem Urbana

LODO DE ESGOTO



Lodo de Esgoto

Resíduo semissólido, pastoso, de natureza predominantemente orgânica, oriundo de estações de tratamento de esgoto.

(PEDROZA et al., 2010)

Uso agrícola:

- Incrementam os teores de C org. do solo;
- Tem potencial de fornecer P, Ca, Mg, K, Mn e Fe e do pH e CTC do solo.

Monitoramento constante

MELO e MARQUES (2000); OLIVEIRA et al. (2002)
BARBOSA E FILHO (2006); GUEDES et al. (2006),
PEDROZA et al. (2010); RICCI et al. (2010)

Limitações:

- O uso pode ser limitado pela presença de substâncias poluentes (metais pesados e patógenos);
- Deve passar pelos processos de higienização e estabilização.

Calagem - feita através da adição de cal ao lodo, é capaz de alcalinizar o meio, causando a estabilização química e a desinfecção de patógenos

Vinhaça



Vinhaça

Resíduo gerado na produção do etanol

Para cada litro de etanol são produzidos de **10 a 13 L** de vinhaça.

Parâmetro	Melaço	Caldo	Misto
pH	4,2 - 5,0	3,7 - 4,6	4,4 - 4,6
Temperatura (°C)	80 - 100	80 - 100	80 - 100
DBO (mg/l O ₂) ^Ø	25.000	6.000 - 16.500	19.800
DQO (mg/l O ₂) ^Ø	65.000	15.000 - 33.000	45.000
Sólidos totais (mg/l)	81.500	23.700	52.700
Sólidos voláteis (mg/l)	60.000	20.000	40.000
Sólidos fixos (mg/l)	21.500	3.700	12.700
Nitrogênio (mg/l N)	450 - 1.610	150 - 700	480 - 710
Fósforo (mg/l P ₂ O ₅)	100 - 290	10 - 210	9 - 200
Potássio (mg/l K ₂ O)	3.740 - 7.830	1.200 - 2.100	3.340 - 4.600
Cálcio (mg/l CaO)	450 - 5.180	130 - 1.540	1.330 - 4.570
Magnésio (mg/l MgO)	420 - 1.520	200 - 490	580 - 700
Sulfato (mg/l SO ₄)	6.400	600 - 760	3.700 - 3.730
Carbono (mg/l C)	11.200 - 22.900	5.700 - 13.400	8.700 - 12.100
Relação C/N	16 - 16,27	19,7 - 21,07	16,4 - 16,43
Matéria orgânica (mg/l)	63.400	19.500	3.800
Subst. redutoras (mg/l)	9.500	7.900	8.300

Vinhaça

Portaria P. 4231 – CETESB - Dosagem máxima de vinhaça a ser aplicada no tratamento de solos agrícolas em cultura de cana-de-açúcar

$$\text{m}^3 \text{ de vinhaça/ha} = [(0,05 \times \text{CTC} - k_s) \times 3744 + 185] / k_{vi}$$

$$= [(0,05 \times 7,1 - 0,14) \times 3744 + 185] / 4,6 = 215,21 \text{ m}^3/\text{ha} - \text{vinhaça mista}$$

$$= [(0,05 \times 7,1 - 0,14) \times 3744 + 185] / 2,1 = 471,41 \text{ m}^3/\text{ha} - \text{vinhaça de caldo}$$

k_s = concentração de potássio no solo, $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na profundidade de 0,80 m

3744 = constante para transformar os resultados da análise de fertilidade, expressos em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para kg de potássio em um volume de um hectare com 0,80 m.

185 = kg de K_2O extraído pela cultura por ha, por corte

k_{vi} = concentração de potássio na vinhaça, expressa em kg m^{-3} de K_2O

LEITURA COMPLEMENTAR

- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Matéria orgânica do solo. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. (Eds) Microbiologia e Bioquímica do Solo. 2 ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. p. 203-261.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.P. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; Camargo, F.A.O. (Eds) Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2 ed. Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 7-16.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. Soil organic matter. In: BRADY, N.C.; WEIL, R.R. The nature and properties of soils. 13 ed. New Jersey: Pearson Education, 2002. p. 498-542.