

PREPARO DO SOLO I

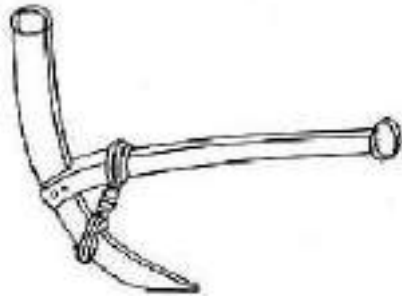
LEB0432

Prof. Leandro M. Gimenez



Introdução

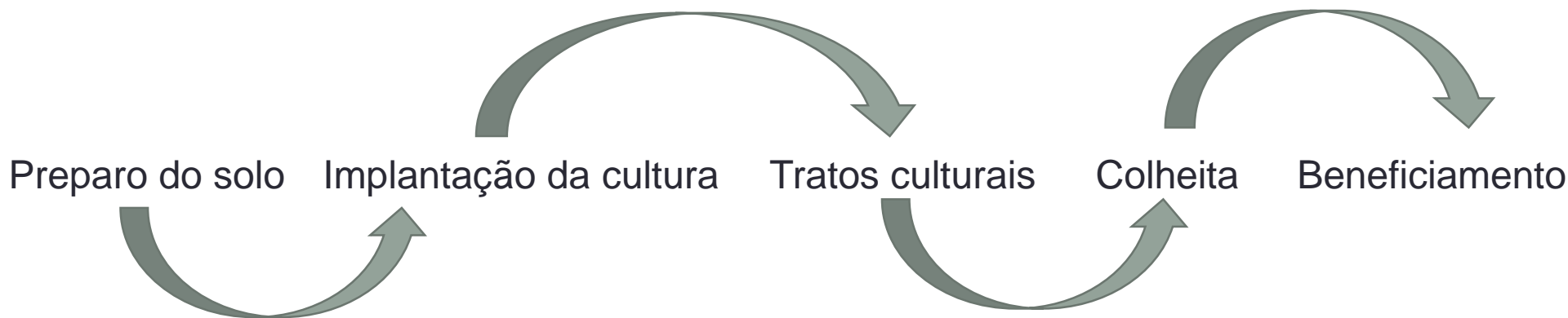
Há quanto tempo o homem utiliza o preparo do solo?



Arqueólogos encontraram arados de madeira simples que eram utilizados no vale do rio Nilo há 5000 anos – sulcar para depositar semente e remover ervas

Introdução

Operações agrícolas são etapas do processo de produção

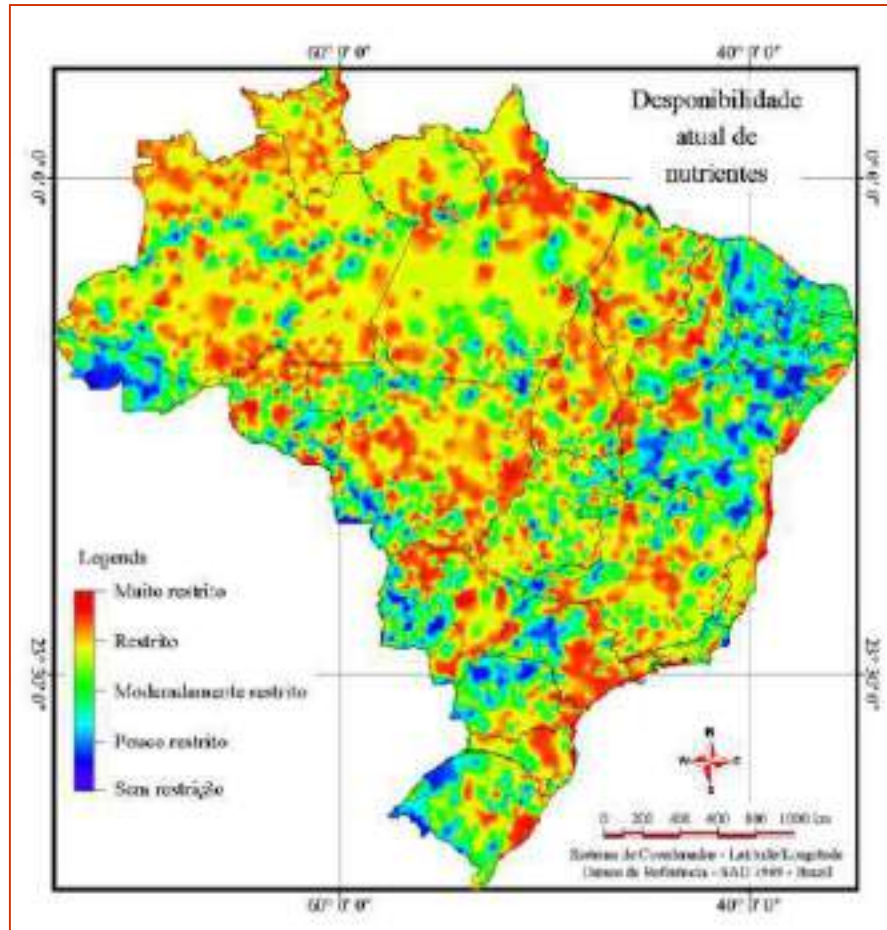




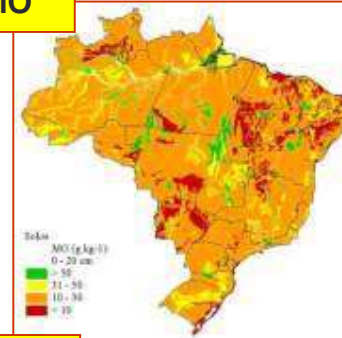
Introdução

Período	Meses												
	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	
1985 a 1990			Soja (130 a 150 dias)										
1991 a 1995			Soja (120 a 135 dias)				Milho safrinha (140 a 160 dias)						
1996 a 2000			Soja (120 a 135 dias)				Milho safrinha (140 a 160 dias)						
2001 a 2005			Soja (110 a 125 dias)				Milho safrinha (130 a 150 dias)						
2006 a 2010			Soja (110 a 125 dias)				Milho safrinha (130 a 150 dias)						
2011 a 2015			Soja (90 a 105 dias)			Milho safrinha (130 a 150 dias)							

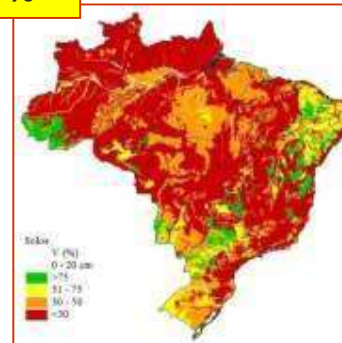
Introdução



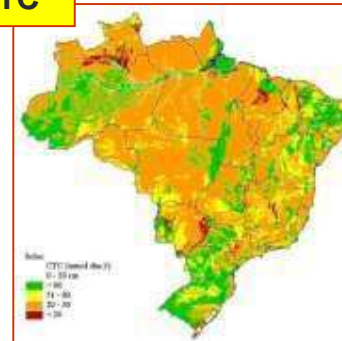
MO



V%



CTC



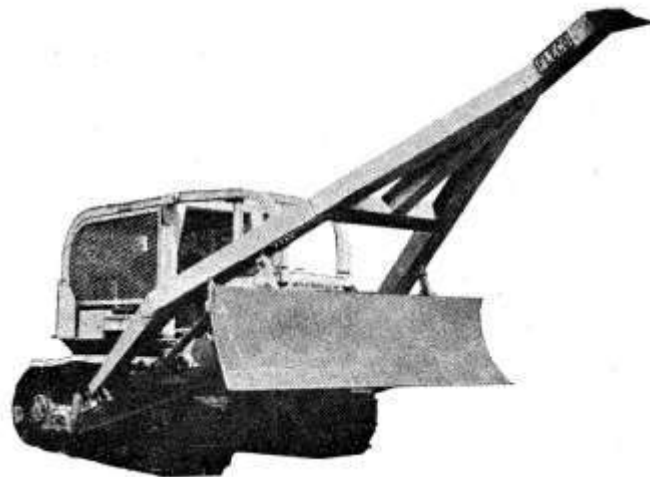
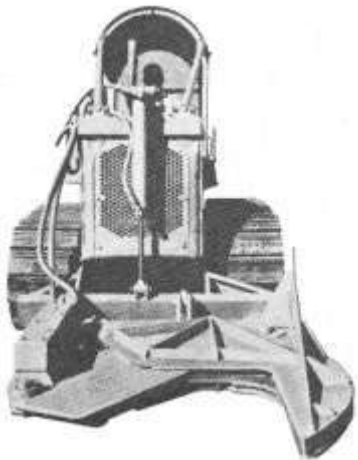
Fonte: Sparovek et al.

Preparo inicial

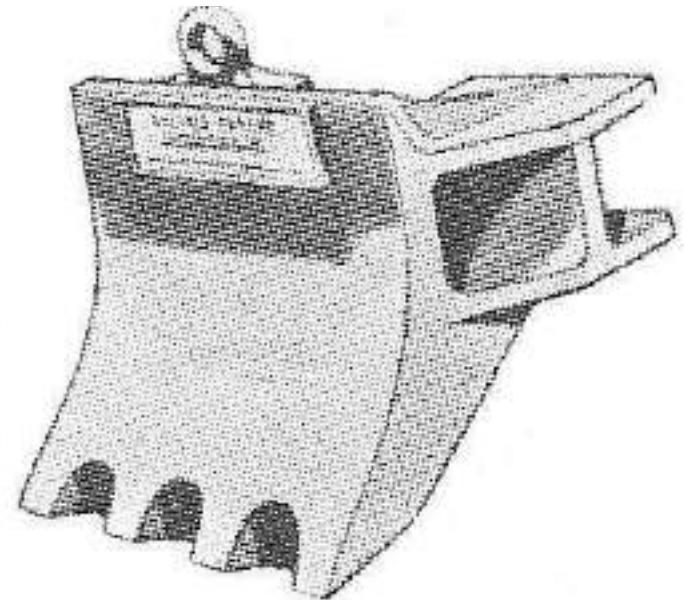
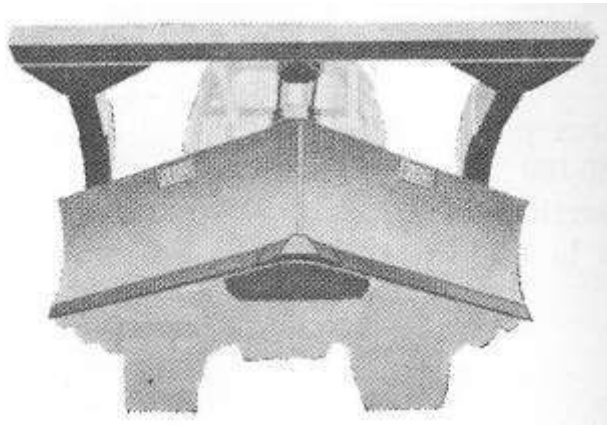
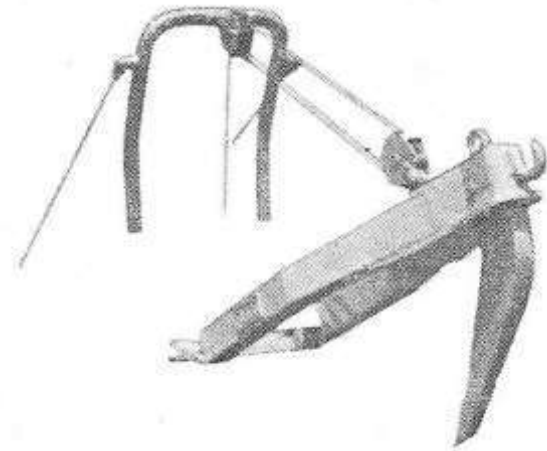
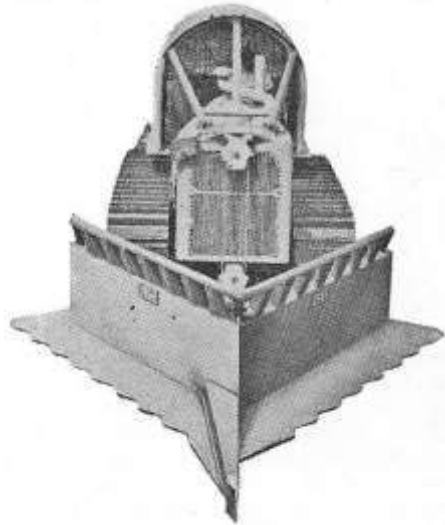
Remoção da vegetação inicial e ou obstáculos para a implantação de culturas ou outros fins

- ❖ Operações de desmatamento
 - Derrubada de árvores e arbustos
 - Corte ou arranquio de tocos
 - Enleiramento e destruição do material derrubado
 - Limpeza e remoção de raízes
- ❖ Operações de movimentação do solo
 - Terraplanagem
 - Valetamento
 - Dragagem

Derrubada



Desbrota e destoca



Limpeza e eliminação



Sistematização



SISTEMAS DE MANEJO E PREPARO DO SOLO

Sistemas de Manejo do Solo

- ❖ Preparo convencional
 - Mobilização em área total
 - Periodicamente



Preparo Periódico do Solo

Propiciar condições para que as plantas se desenvolvam , evitando a degradação do solo

Preparo inadequado

Degradação

Erosão

Compactação

Preparo Convencional

- ❖ Modalidades que utilizam operações de preparo com inversão das camadas do solo e conseqüente incorporação dos resíduos : mantém **menos de 5% da superfície do solo coberta com resíduos**
- ❖ Elevado consumo de energia e demanda de tempo por unidade de área
- ❖ Em ambiente tropical pode ser inadequado do ponto de vista da sustentabilidade

Etapas do Preparo Convencional

❖ Preparo primário

- Profundidades maiores que 20cm
- Busca reduzir a coesão, rompendo e desestruturando blocos de solo
- Revolvimento
- Incorporação
- Deixa a superfície irregular



Equipamentos: Preparo Primário

- Arados
- Grades pesadas
- Subsoladores



Etapas do Preparo Convencional

❖ Preparo secundário

- Criação de um leito de semeadura
- Profundidade menor que 20 cm
 - ❖ Destorroamento
 - ❖ Nivelamento
 - ❖ Aeração
 - ❖ Incorporação superficial



Equipamentos: Preparo Secundário

- Grades médias
- Grades niveladoras
- Escarificadores
- Rolos destorreadores
- Correntes
- Enxada rotativa



Enxada Rotativa

- ❖ Desagregação intensa
 - Corte e incorporação de resíduos
 - Leito de semeadura

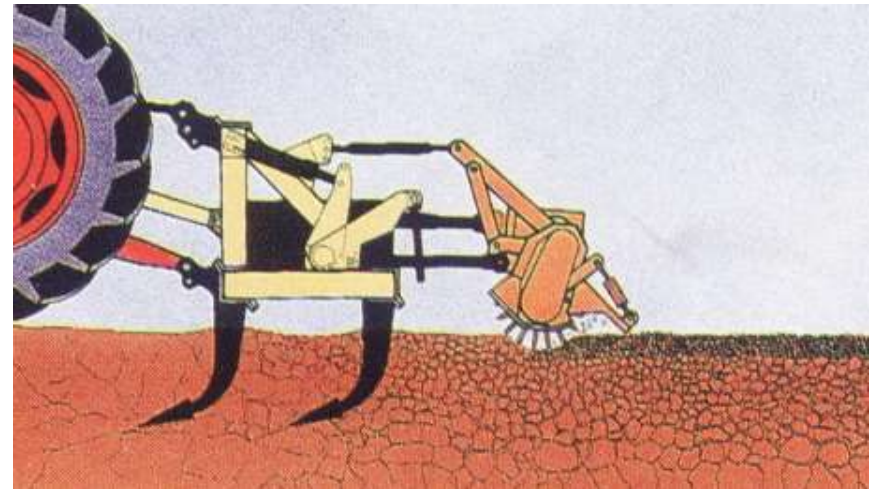
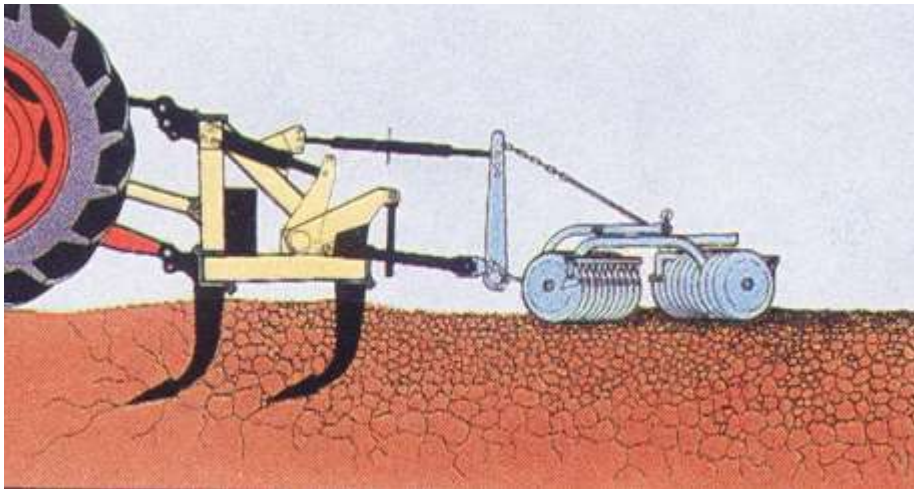


Exemplos de Preparo Convencional

- Aração + gradagem + gradagem leve
- Gradagem pesada + gradagem + gradagem leve
- Subsolagem + gradagem pesada + gradagem leve
- Escarificação + gradagem leve + gradagem leve

Operações Combinadas

- ❖ Preparo primário + Secundário em uma passada da máquina
- ❖ Pouco comum no Brasil









Preparo Conservacionista

- Reduz as perdas de solo ou água, quando comparado com o preparo convencional;
- Deve permitir a manutenção de, no mínimo, 30 % da superfície do solo coberta com resíduos após a implantação das culturas;
- 30 % da superfície do solo coberta com resíduos proporciona **60 % de redução nas perdas de solo por erosão.**

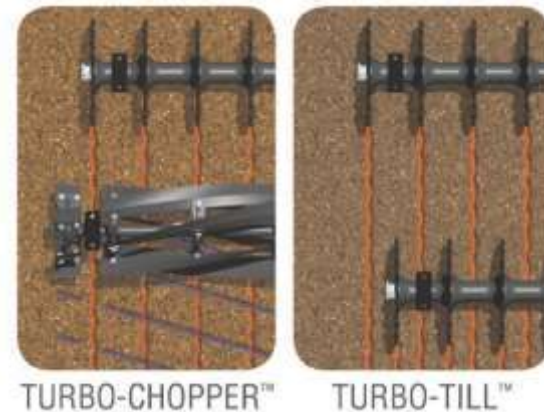
Preparo Conservacionista

Realização do chamado preparo vertical com mobilização sem revolvimento acentuado visando reduzir a incorporação de resíduos

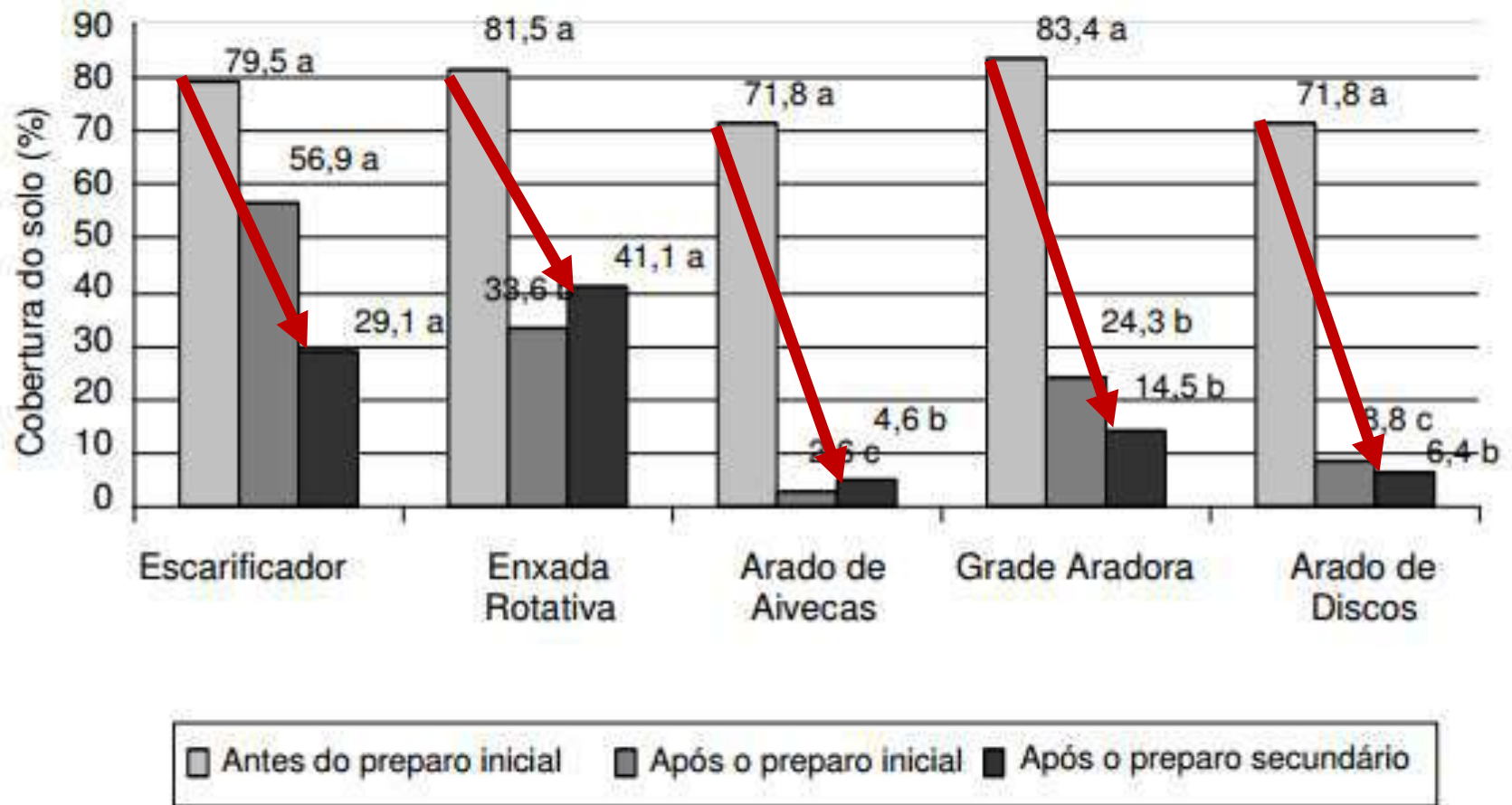
Hastes



Discos, lâminas, dentes



Preparo Conservacionista



Carvalho Filho et al., (2007)

Preparo Conservacionista

Preparo Reduzido ou Mínimo

- Solo mobilizado de modo localizado, manutenção de resíduos sobre a superfície
- Uso de hastes munidas e rolos destorreadores
- Profundidade de preparo não excedendo 25 cm, apenas para romper a camada compactada



Semeadura Direta/Plantio Direto

- Mobilização apenas ao longo da linha de semeadura



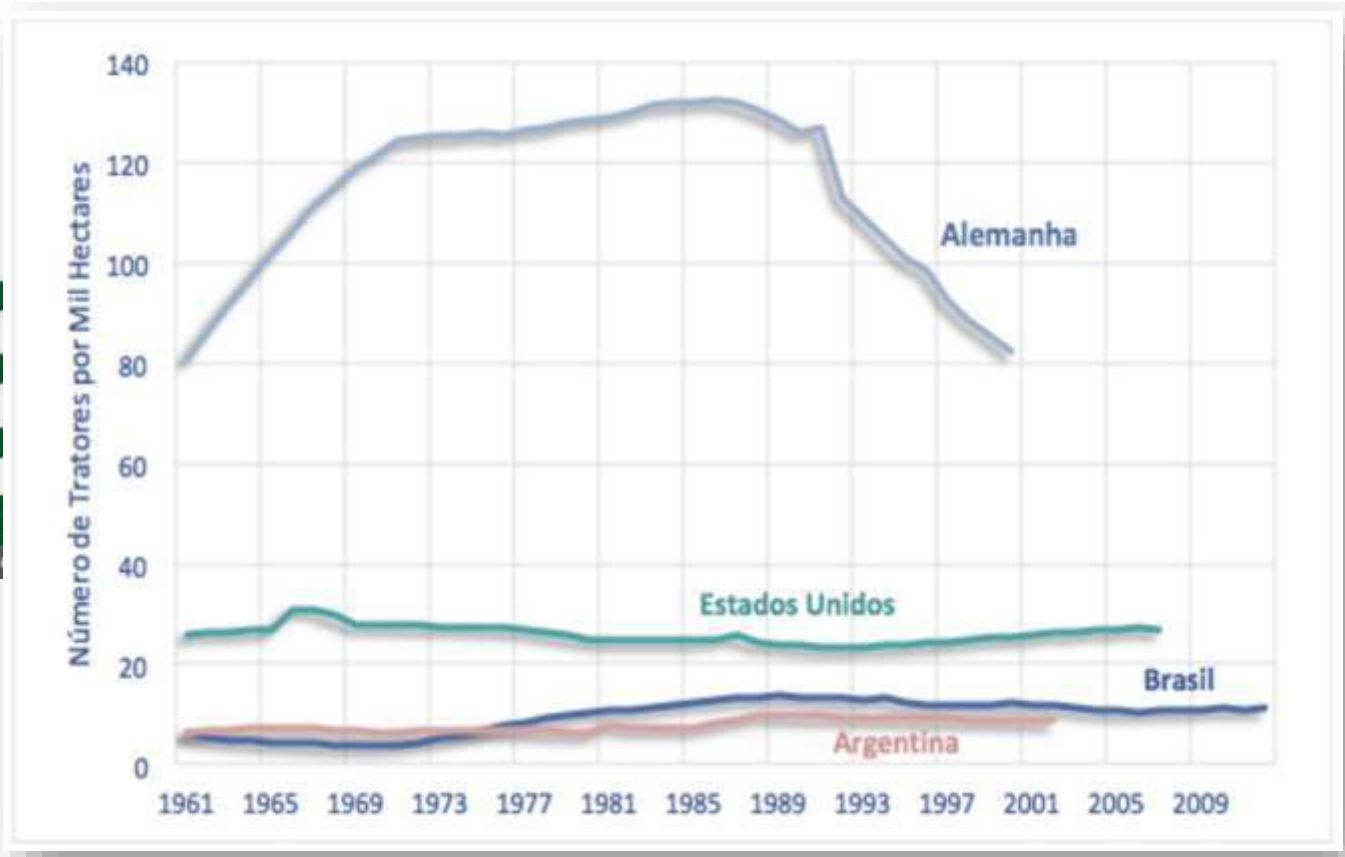
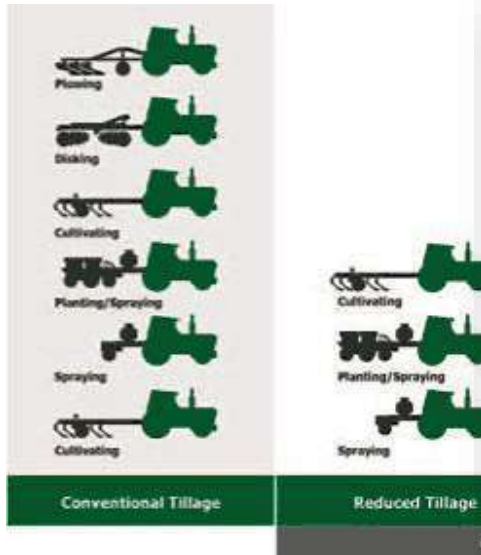
Eficiência Energética

Tabela 1 – Custo energético dos quatro sistemas de preparo e semeadura do milho. Preparo Convencional (PC), Cultivo Mínimo (PR), com vibro escarificador, Cultivo Mínimo (CM) com grade leve, e Plantio direto (PD).

Operações	Sistemas de preparo			
	PC	PR	CM	PD
	Custo energético (MJ ha ⁻¹)			
Arado de disco	1420,43	-	-	-
Grade de disco	573,80	-	-	-
Pulverização	-	818,03	816,06	815,85
Grade leve	-	-	656,24	-
Vibro escarificador	-	749,09	-	-
Semeadura	578,66	536,09	532,20	540,53
Total	2572,89	2105,22	1994,50	1356,38
Porcentagem total (%)	100	81,82	77,52	52,72

Ciênc. agrotec., Lavras, v. 32, n. 5, p. 1582-1587, set./out., 2008

Eficiência Energética

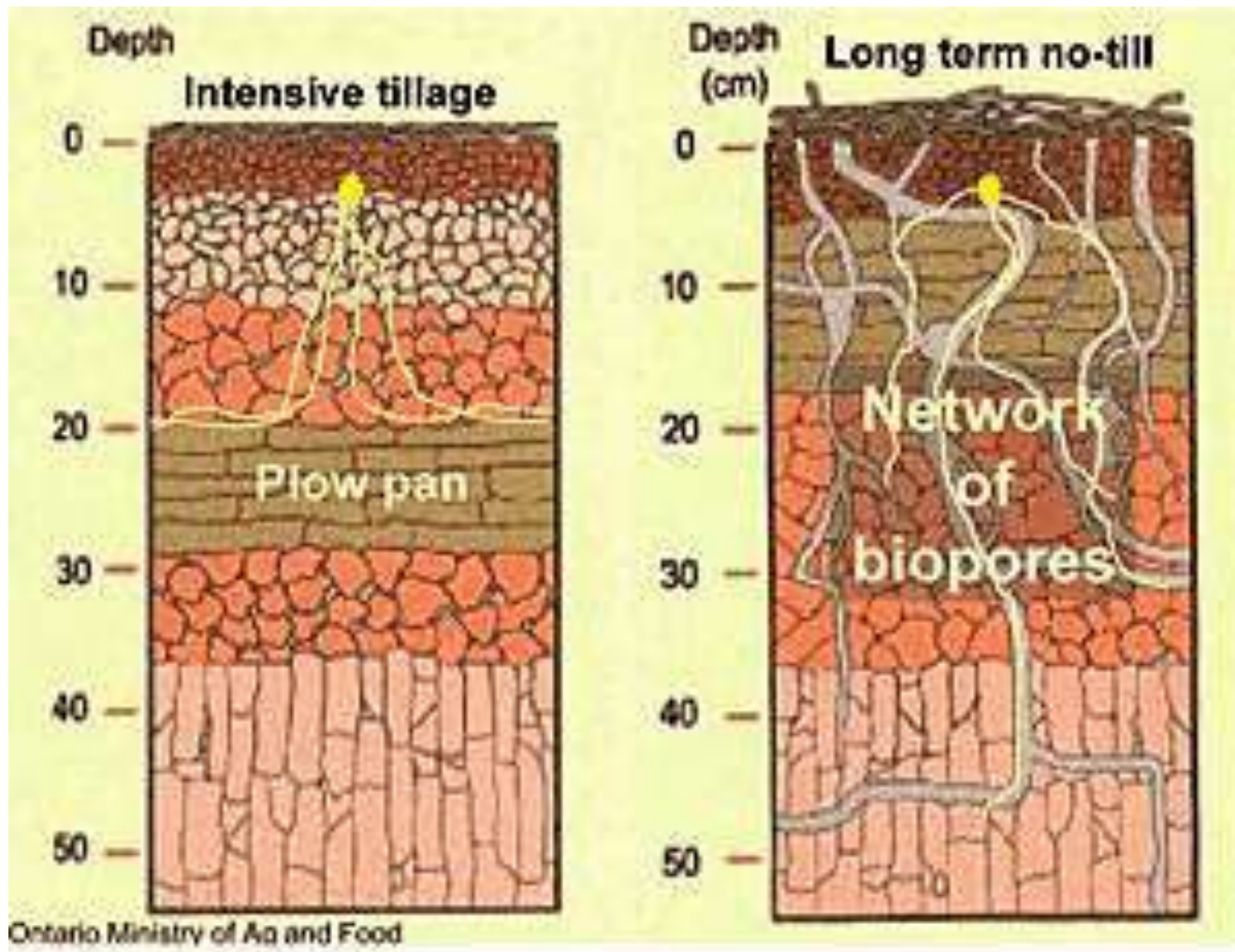


Fonte: Céleres®, Anfavea.

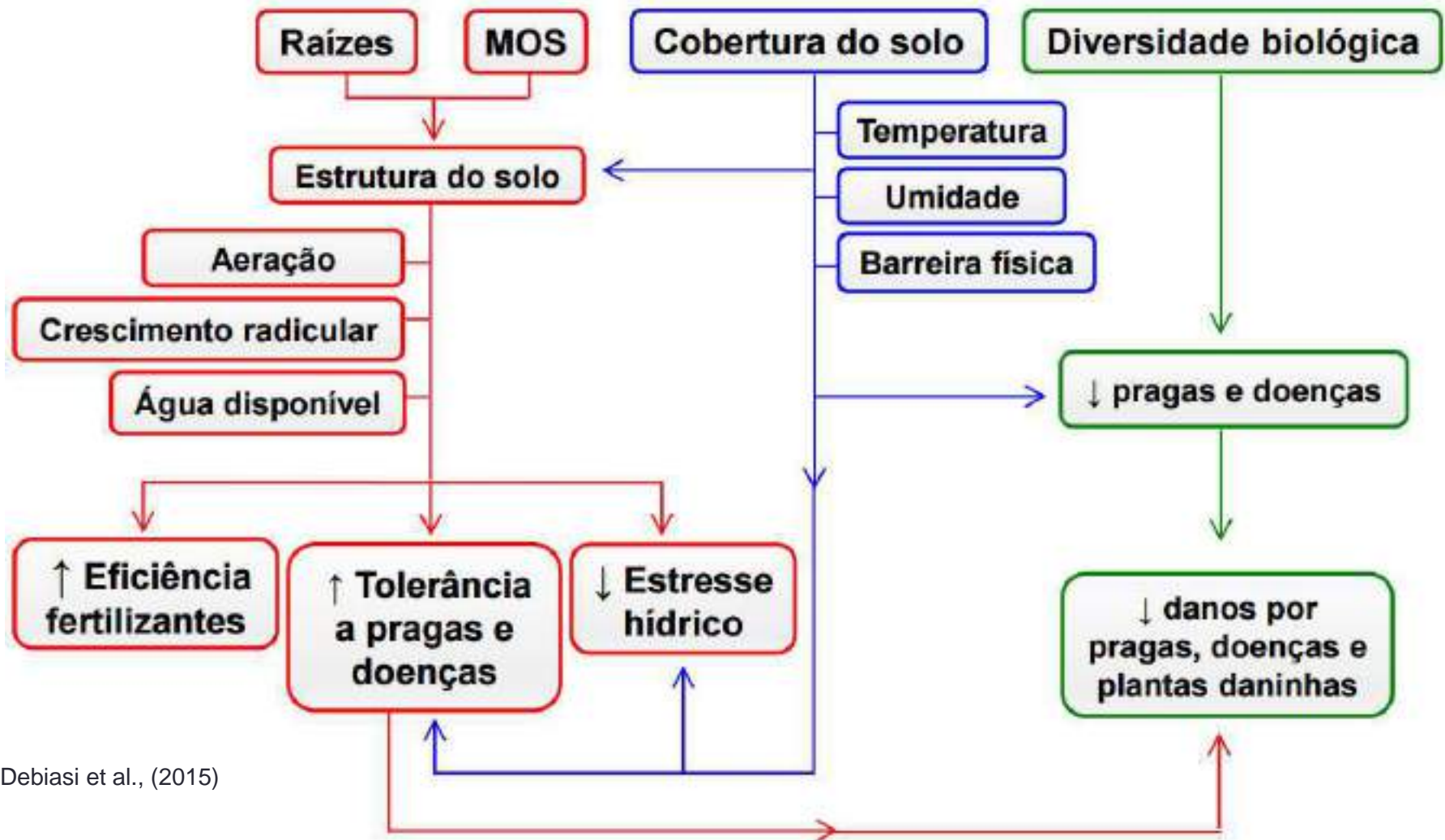
Plantio Direto x Sistema Plantio Direto

- ❖ Mobilização de solo apenas na linha de semeadura;
- ❖ Manutenção dos restos de cultura na superfície do solo;
- ❖ Diversificação de modelos de produção: rotação, consorciação e/ou sucessão de culturas;
- ❖ Processo colher/semear com redução ou supressão do intervalo de tempo entre a colheita e a próxima semeadura;
- ❖ Adição de material orgânico ao solo em quantidade, qualidade e frequência compatível com a demanda da biologia do solo, que é da ordem de 8.000 kg/ha a 12.000 kg/ha por ano;
- ❖ Manutenção da cobertura permanente do solo

Convencional x Conservacionista

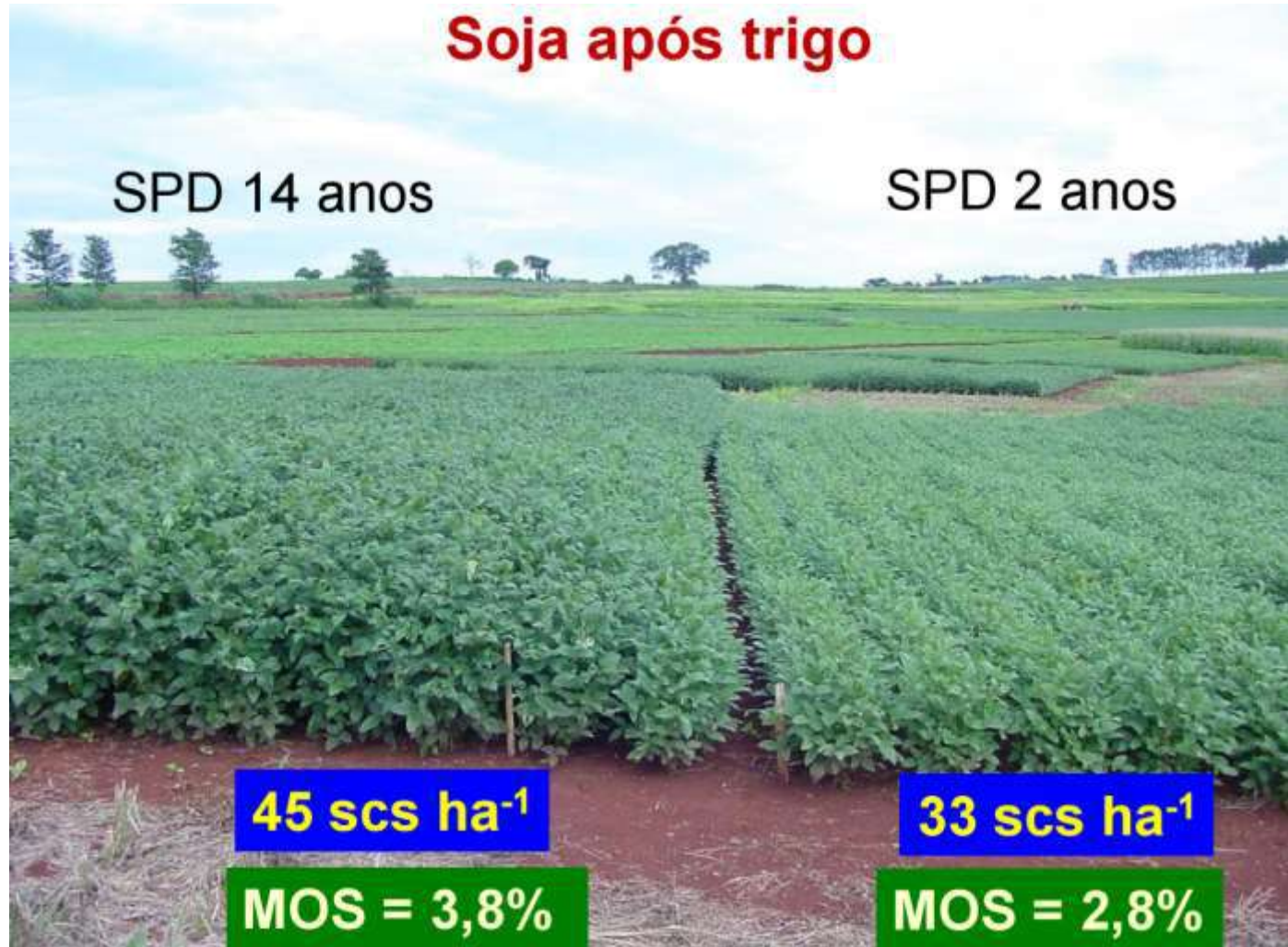


Efeitos: Sistemas conservacionistas



Debiasi et al., (2015)

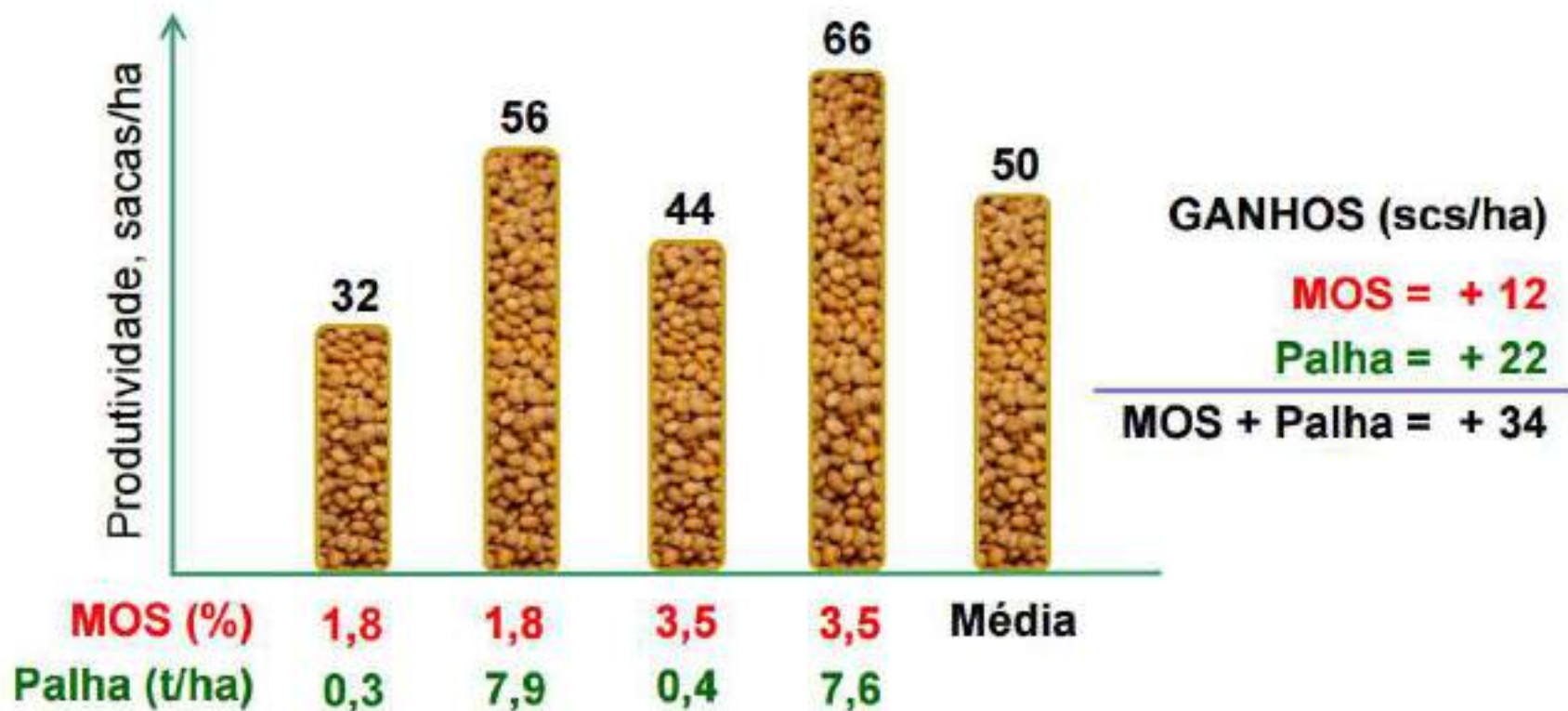
Efeitos: Sistemas conservacionistas



Debiasi et al., (2015)

Efeitos do sistema e de manejo

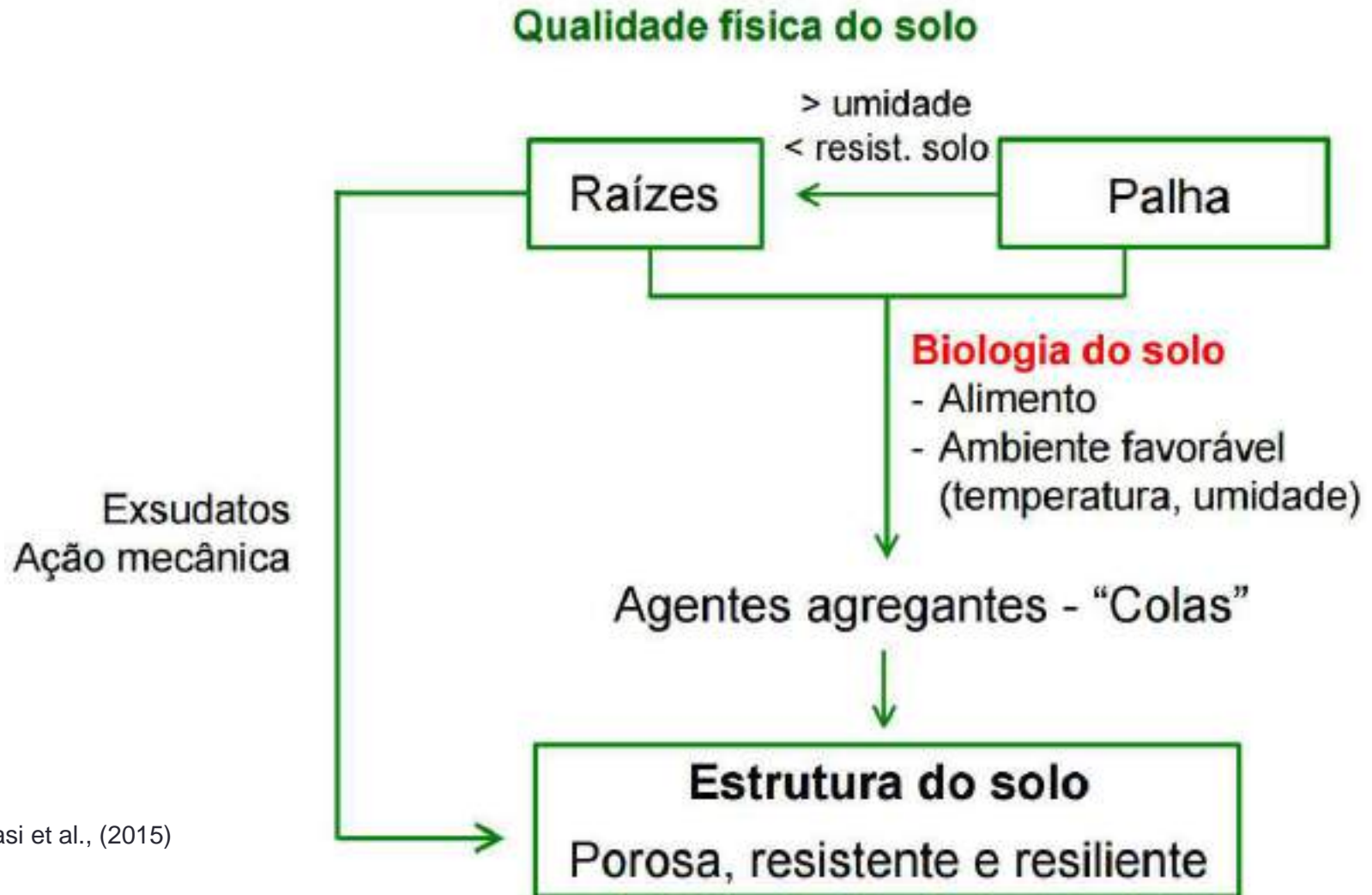
Produtividade da soja (TMG 115RR) em função do teor de MOS e da cobertura do solo na safra 2010/11, em Lucas do Rio Verde/MT.



Adaptado de Costa et al. (2014).

Argila: Área 1 (1,8% de MOS)=46%
 Área 2 (3,5% de MOS)=44%

Efeitos: Sistemas conservacionistas



Debiasi et al., (2015)



Preparo + Monocultura

Faces planas
Blocos angulados e firmes
Raízes apenas nas interfaces



Debiasi et al., (2015)

Sistema Plantio Direto



Preparo do solo

Mobilização realizada para obter condições satisfatórias ao desenvolvimento das plantas

Efeitos desejados: físicos, químicos, biológicos

Preparo eficiente: assegura, sem causar degradação, os efeitos desejados com baixo consumo de energia por volume mobilizado ao longo do tempo

Contexto amplo

O **preparo do solo** está inserido no sistema de manejo e como tal deve ser compreendido como um componente de um sistema complexo

Sistema de manejo do solo: conjunto de procedimentos realizados com objetivos de propiciar condições favoráveis à semeadura, ao desenvolvimento e à produção das plantas cultivadas, por tempo ilimitado

Fontes de Potência...



Homem
75 W



Microtrator
13.000 W



Trator
368.000 W



Cavalo
300 W

Máquinas para mobilização do solo

Aquelas destinadas a promover alterações na estrutura MACROSCÓPICA dos horizontes superiores do perfil do solo, ou seja, leito radicular e leito de semeadura



Máquinas para mobilização do solo

**Características
Construtivas**



Ambiente



**Características
Operacionais**

- ❖ Possibilidades de ajuste
- ❖ Dimensões
- ❖ Qualidade
- ❖ Garantia
- ❖ Manutenibilidade

- ❖ Capacidade
- ❖ Eficiência
- ❖ Confiabilidade
- ❖ Adequação
- ❖ Segurança

Processo

Condição Inicial

Solo compactado e desuniforme, com presença de plantas daninhas

Estabelecimento

Preparo do solo

Aração + Gradagem

Arado e Grade

Semeadura e adubação

Semeadora adubadora

Controle de plantas daninhas

Aplicação de herbicida

Pulverizador de barras

Condição Final

Sementes tratadas e depositadas sob uma camada uniforme de solo, em profundidade e densidade adequada

Fertilizante em dose e distância adequada da semente

Ausência de plantas daninhas em competição

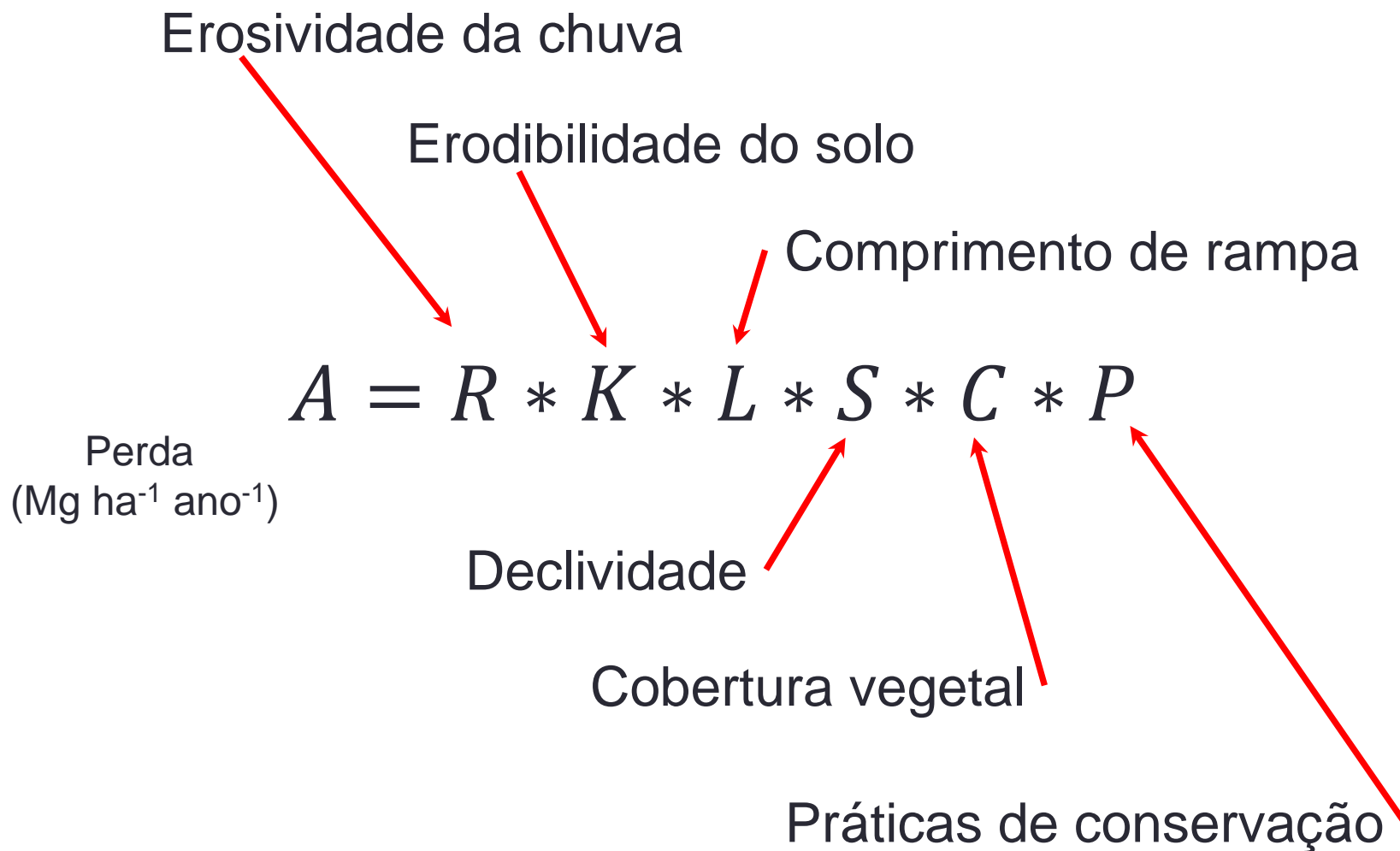
Máquinas agrícolas são meios para a realização de operações previstas no processo

Excesso de preparo





Equação Universal de Perda do Solo



Erosão

❖ Processo de desprendimento e arraste das partículas do solo

➤ Vento

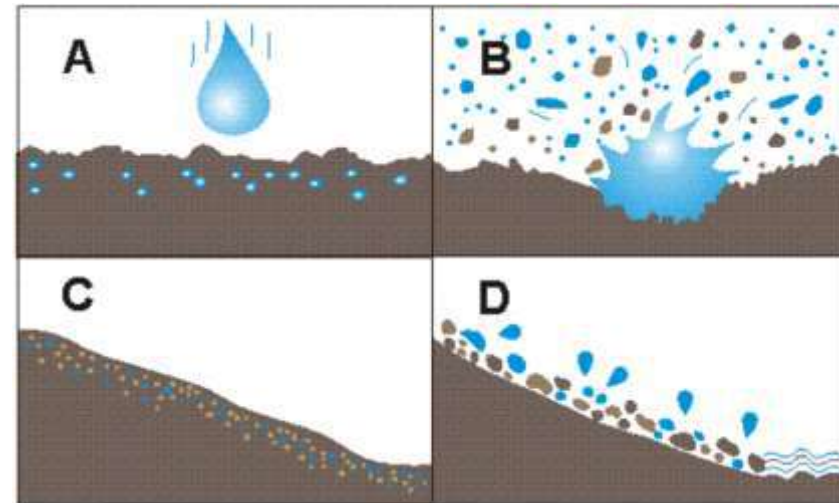
➤ Água

A. Impacto de gotas

B. Fragmentação

C. Entupimento dos poros

D. Escorrimento/Carregamento



Derpsch et al. 1991

Erosão

- ❖ Impacto da chuva
 - ❖ Laminar
 - ❖ Em sulcos
 - ❖ Voçorocas
- } Escorrimento/Enxurrada



Gassen, 2009



Efeito do Preparo Sobre Perda de Solo

Tabela 1. Estatísticas descritivas da perda de solo por erosão, por tratamento do Ensaio I (1990 a 1996)

Tratamento	Descrição	Média	s	Mínimo	Máximo	C.V.
		kg ha ⁻¹				%
T1	Grade aradora	623,45 C	58,36	543,04	714,55	9,36
T2	Sistema alternado	585,34 C	24,63	556,35	625,45	4,21
T3	Escarificação	525,67 C	68,37	417,04	600,35	13,01
T4	Plantio direto	121,36 D	21,14	100,45	154,58	17,42
T5	Aração em nível	606,89 C	64,00	508,56	677,57	10,55
T6	Roçado	73,23 D	4,15	69,45	81,25	5,67
T7	Aração morro abaixo	4.677,89 A	472,96	4.256,88	5.506,25	10,11
T8	Rotavação	1.475,85 B	223,15	1.256,89	1.859,45	15,12

Valores médios (seis safras) seguidos de mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$). s: desvio-padrão. C.V.: coeficiente de variação.

Tabela 8. Estatísticas descritivas dos custos de reposição de nutrientes perdidos por erosão para duas safras do Ensaio Atual (2003-2005)

Safrá 2003/04					
Tratamento	Média	s	Mínimo	Máximo	C.V.
	R\$ ha ⁻¹				%
SD	63,35 A	6,57	56,76	70,23	10,37
PC	129,79 A	75,85	60,23	228,78	65,91
Safrá 2004/05					
SD	60,59 A	4,21	55,95	66,12	6,95
PC	166,13 A	133,17	69,15	352,46	80,15

Custos expressos em reais de 2005, computados os custos totais dos fertilizantes e das aplicações. s: desvio-padrão. C.V.: Coeficiente de variação. Tratamentos: SD: sistema plantio direto. PC: sistema convencional com grade aradora.

PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

Práticas de caráter vegetativo

- ❖ Diversas práticas que se complementam
 - Reflorestamento
 - Cultivo em faixas
 - Uso de plantas de cobertura
 - Cobertura morta
 - Quebra-ventos
 - Cordões de vegetação permanente

Práticas de caráter mecânico

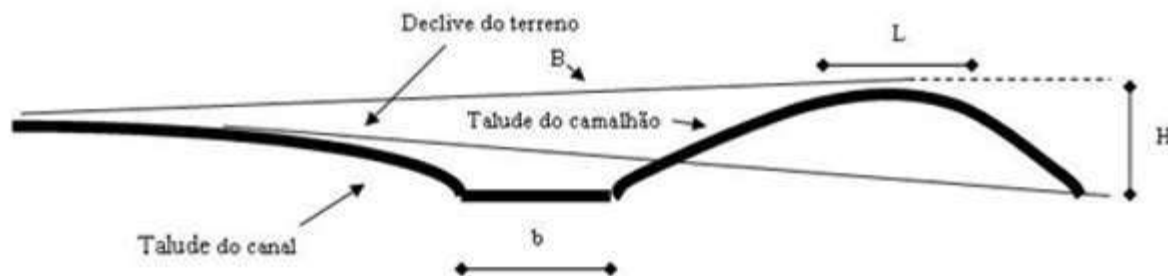
- ❖ Estruturas artificiais adequadas
 - Disposição de porções de terra visando quebrar a velocidade de escoamento da enxurrada e facilitar a infiltração
 - ❖ Distribuição racional das estradas
 - ❖ Cultivo em contorno
 - ❖ Terraceamento

Terraços

❖ Estruturas constituídas por um canal e um camalhão, dispostas transversalmente ao plano de declive.

➤ Obstáculo físico à enxurrada

- ❖ Redução da velocidade de escoamento superficial
- ❖ Promoção da infiltração da água no solo
- ❖ Remoção da água



Tipos de Terraços

➤ Quanto ao manejo da enxurrada

- ❖ Terraço em nível

- ❖ Terraço com gradiente http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/BT71.pdf

➤ Quanto ao formato

- ❖ De base larga → 6 a 12 m de movimentação do solo

- ❖ De base média → 3 a 6 m de movimentação do solo

- ❖ De base estreita → até 3 m de movimentação do solo

➤ Quanto ao modo de construção

- ❖ Nichols: construído pelos dois lados

- ❖ Mangum: construído pelo lado de cima

Dimensionamento de Terraços



Espaçamento Vertical: $EV = 0,4518KD0,58 [(u + m)/2]$

Espaçamento Horizontal: $EH = (100EV)/D$

Tabela 6. Agrupamento de solos segundo sua resistência à erosão (LOMBARDI NETO *et al.*, 1994).

Grupo	Solo ¹	Relação textural ²	Profundidade	Permeabilidade	Índice K
A	Latossolos textura muito argilosa, argilosa e média	< 1,2	Muito profundo (>2,0 m) e profundo (1,0 a 2,0 m)	Rápida/rápida Moderada/rápida	1,25
B	Latossolos textura arenosa e Nitossolos	1,2 a 1,5	Profundo (1,0 a 2,0 m)	Rápida/rápida Rápida/moderada	1,10
C	Argissolos abruptos ou não	> 1,5	Profundo e moderadamente profundo	Lenta/rápida Lenta/moderada Rápida/moderada	
D	Neossolos litólicos e regolíticos; e Argissolos rasos	Variável	Moderadamente profundo (0,5 a 1,0 m) e raso (0,5 a 0,25 m)	Rápida/moderada Lenta/lenta	

¹Classes de solos adaptadas ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (SA *et al.*, 2006); ²Razão entre os teores de argila do Horizonte B sobre os teores do Horizonte A

Tabela 7. Agrupamento de culturas segundo a cobertura do solo e respectivos índices (LOMBARDI NETO *et al.*, 1994).

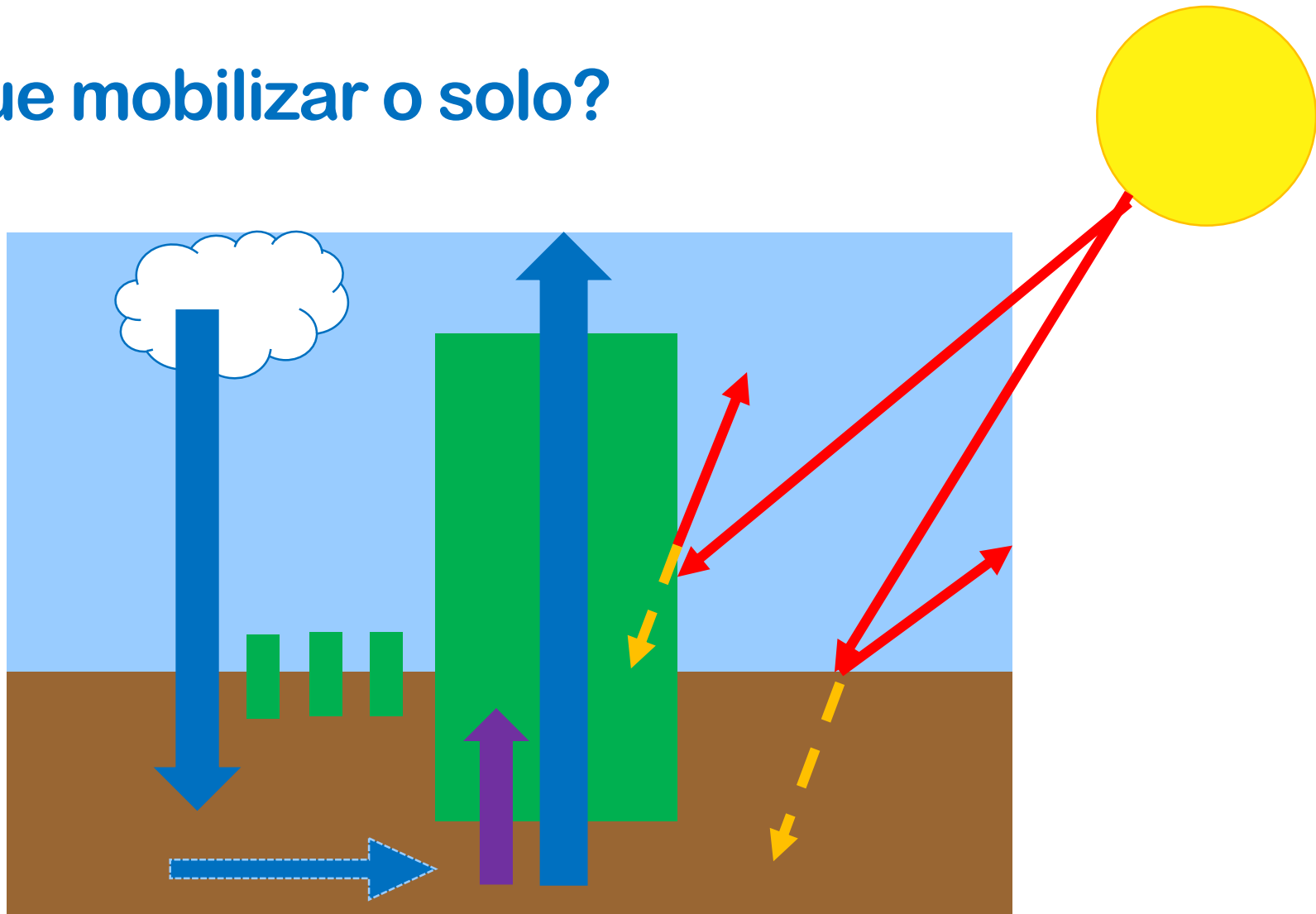
Grupo	Cultura	Proteção ao solo	Índice u
1	Feijão, mandioca e mamona	Muito pouca	0,50
2	Amendoim, algodão, arroz, alho, cebola, girassol e fumo		0,75
3	Soja, batatinha, melancia, abóbora, melão e leguminosas para adubação verde		1,00
4	Milho, sorgo, cana-de-açúcar, trigo, aveia, centeio, cevada, outras culturas de inverno e frutíferas de ciclo curto		1,25
5	Banana, café, citros e frutíferas permanentes		1,50
6	Pastagens e/ou capineiras		1,75
7	Reflorestamentos, cacau e seringueira	Muito alta	2,00

Tabela 8. Agrupamento de preparo do solo e manejo de restos culturais com seus respectivos índices (LOMBARDI NETO *et al.*, 1994).

Grupo	Preparo primário	Preparo secundário	Restos culturais	Índice m
1	Grade aradura (ou pesada) ou enxada rotativa	Grade niveladora	Incorporados	0,50
2	Arado de disco ou alveca	Grade niveladora	Incorporados	0,75
3	Grade leve	Grade niveladora	Parcialmente incorporados com ou sem rotação de culturas	1,00
4	Arado escarificador	Grade niveladora	Parcialmente incorporados com ou sem rotação de culturas	1,50
	Não tem	Plantio sem revolvimento do solo, ração-deira, rolo-faca, e herbicidas (plantio direto)	Superfície do terreno	2,00

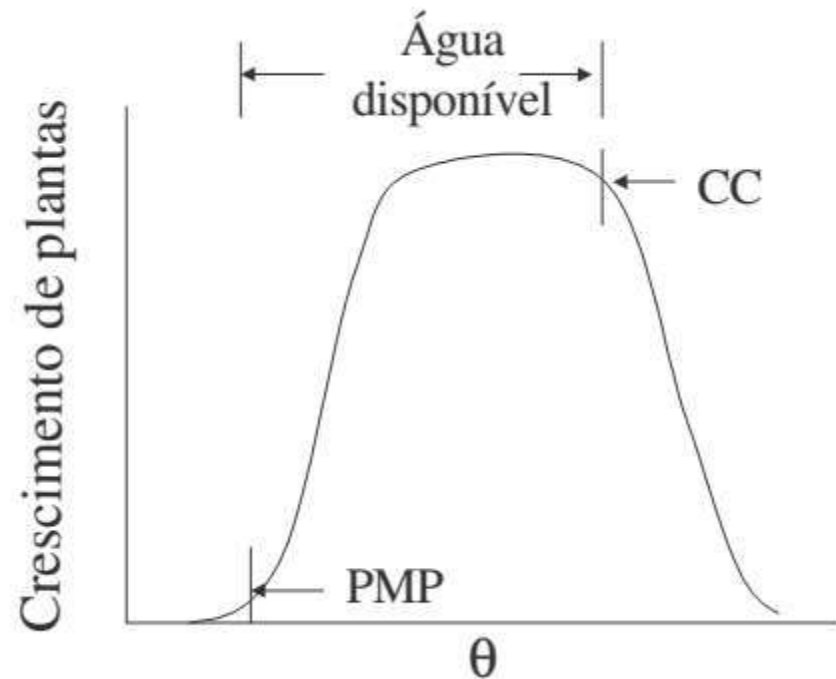
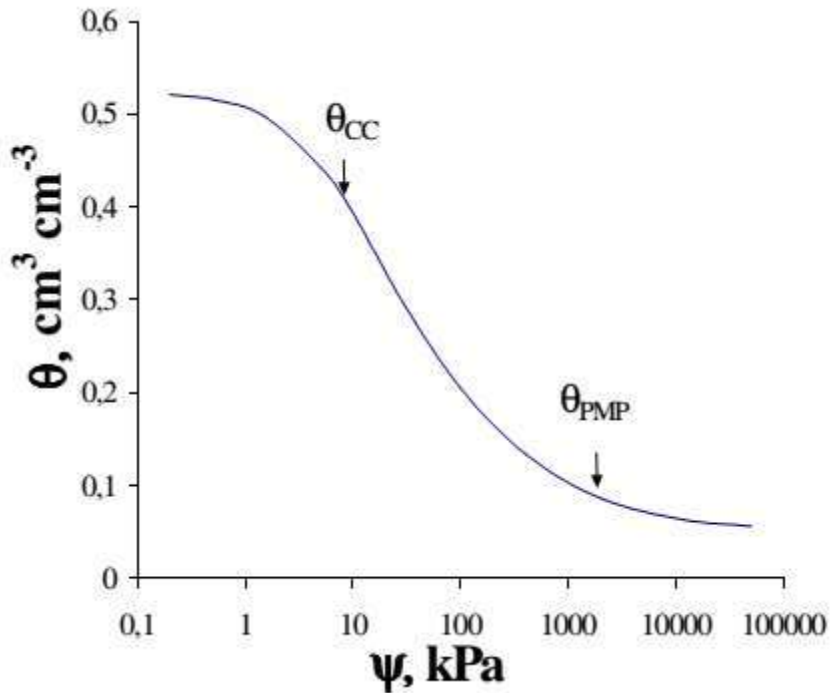
NECESSIDADE DE MOBILIZAR O SOLO

Porque mobilizar o solo?

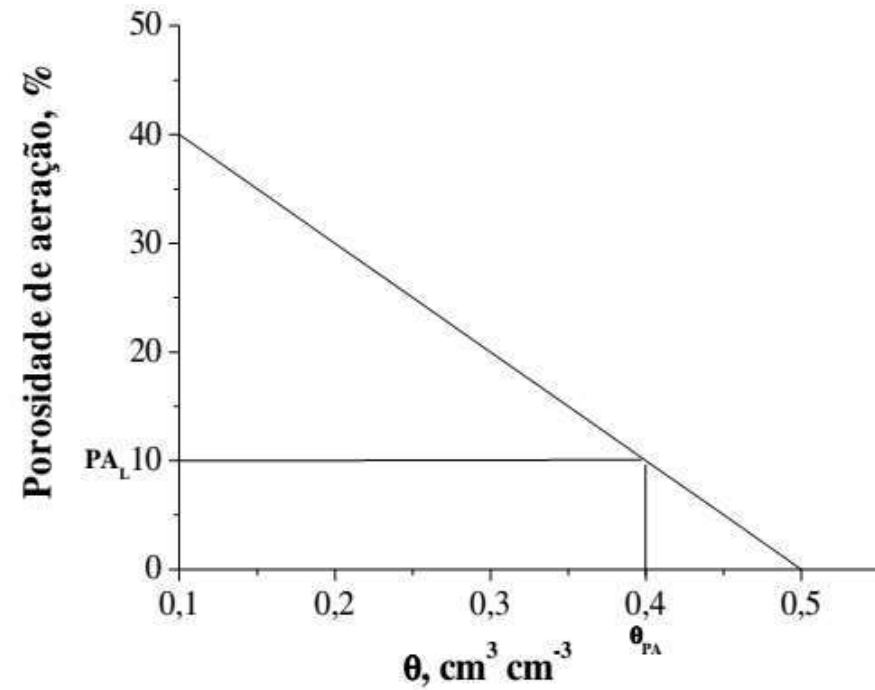
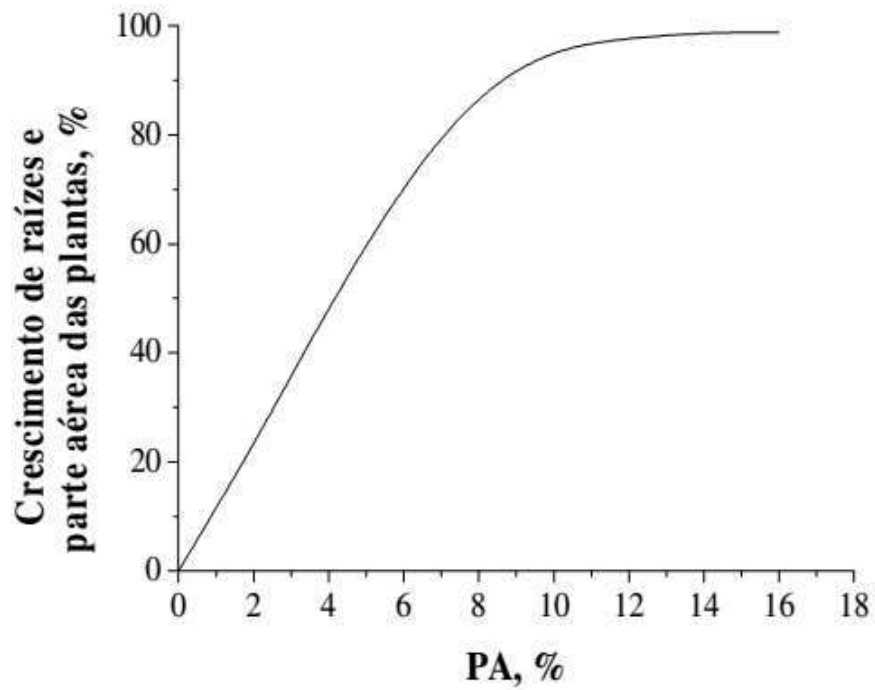


Disponibilidade hídrica

$$CAD = (CC - PMP) \times Z$$

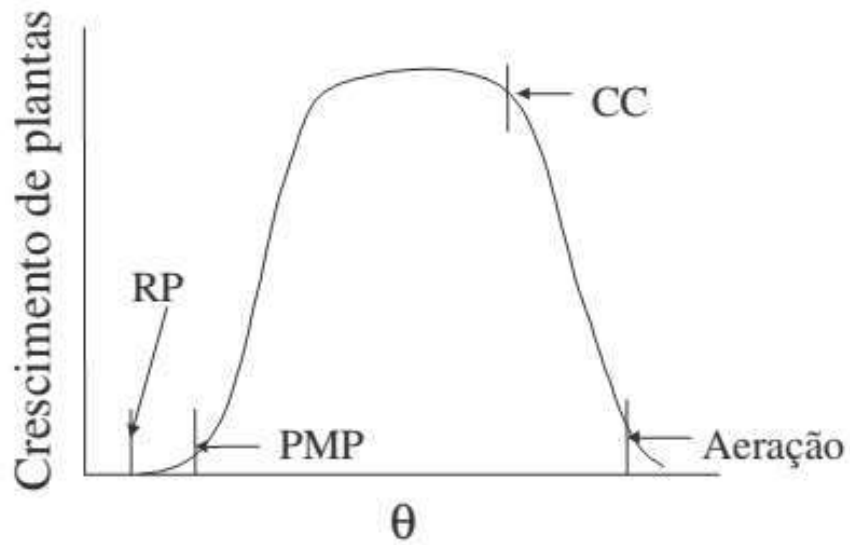


Aeração

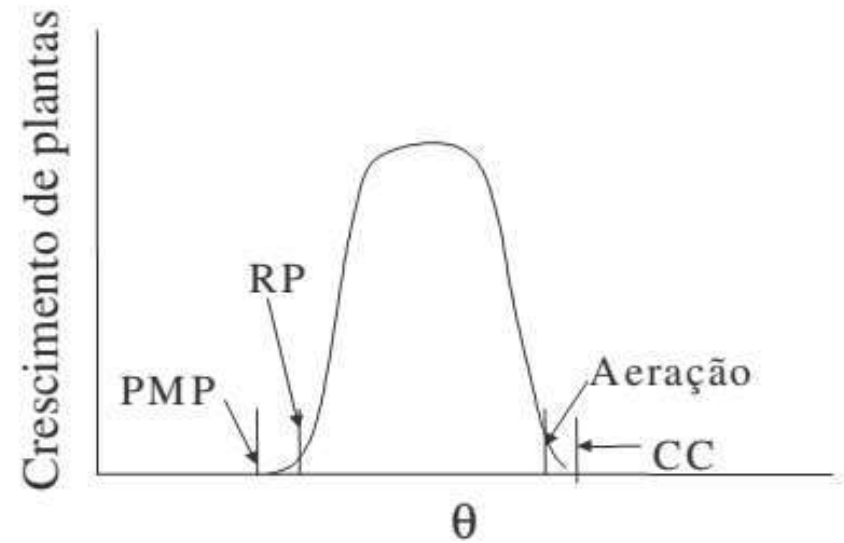


Densidade

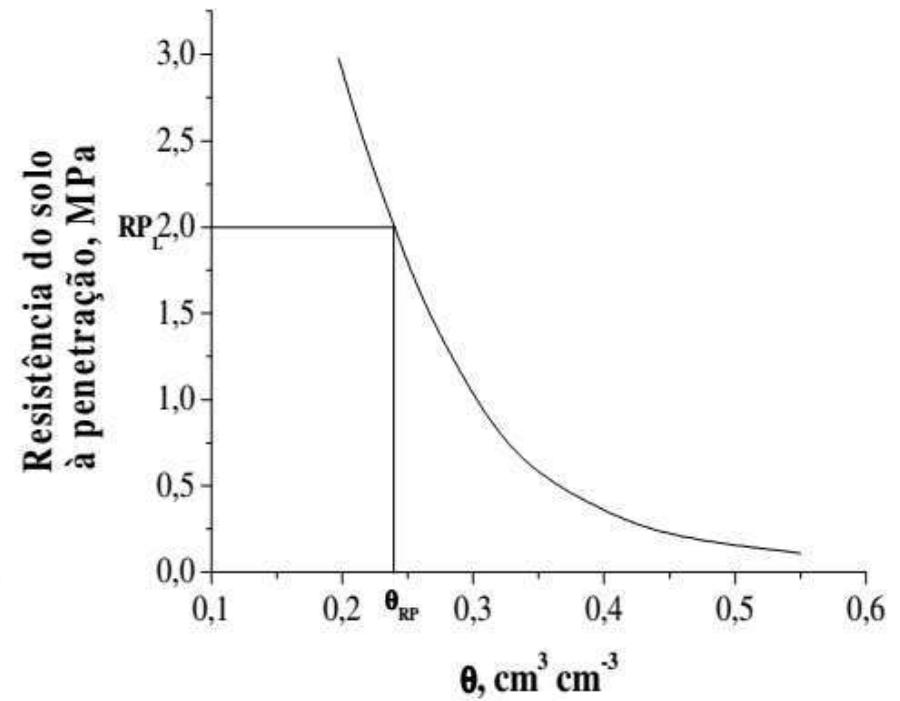
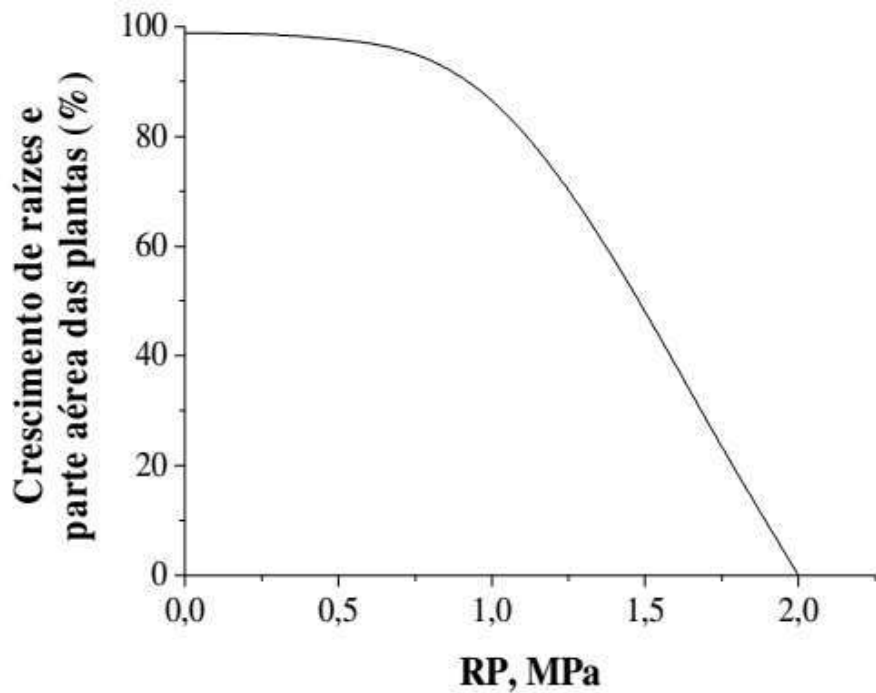
Solos não compactados



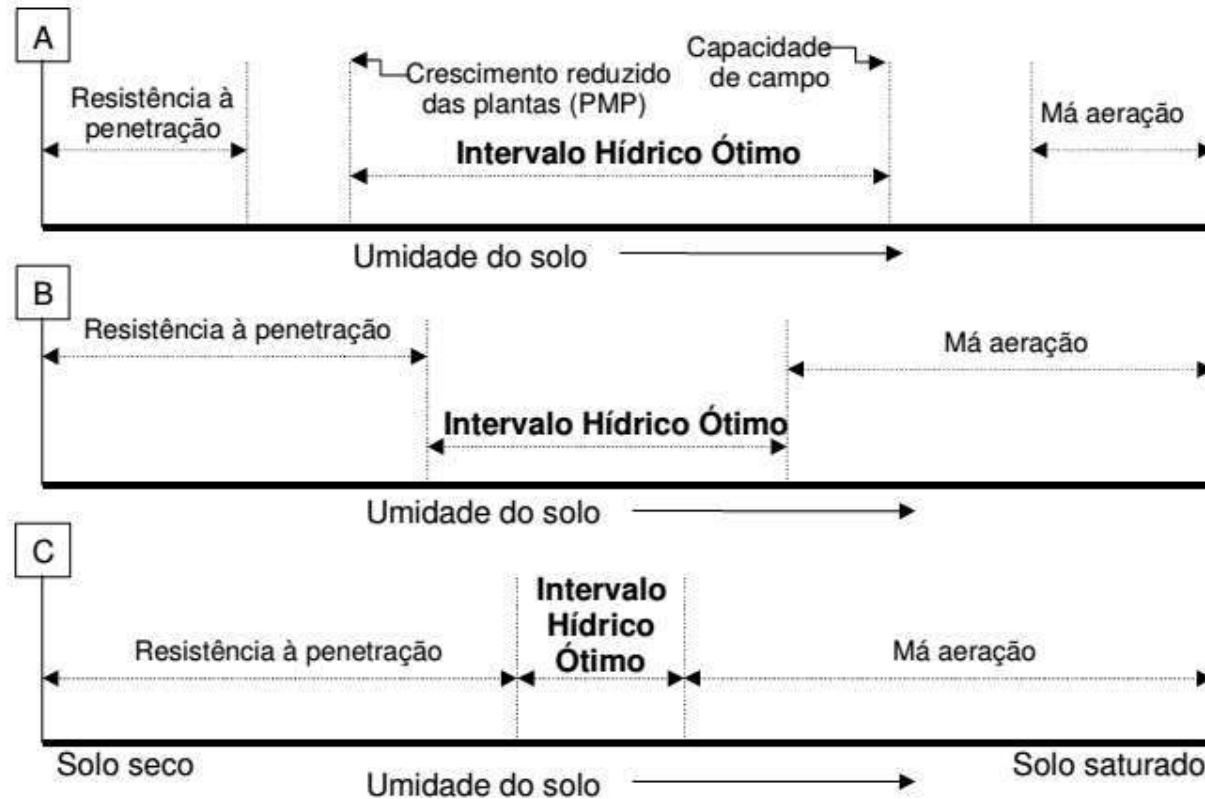
Solos compactados



Resistência mecânica



Restrições físicas ao desenvolvimento radicular



Restrições químicas ao desenvolvimento radicular

- ❖ Agricultura em ambiente tropical
 - Solos altamente intemperizados
 - Baixa disponibilidade de nutrientes
 - Alumínio
 - Acidez

Calagem

Reação f(superfície de contato,
presença de umidade)

Correção
nutrientes

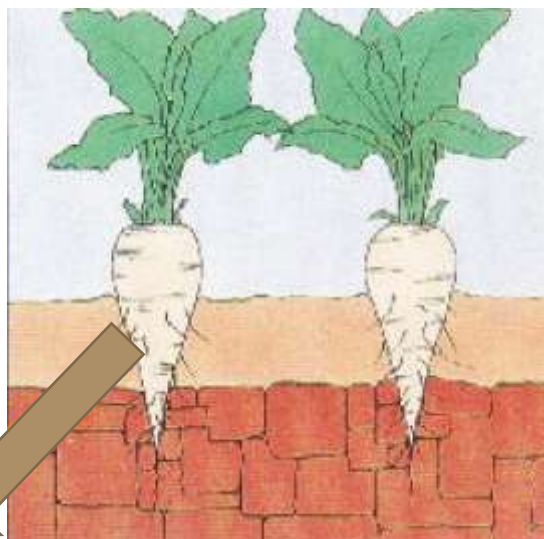
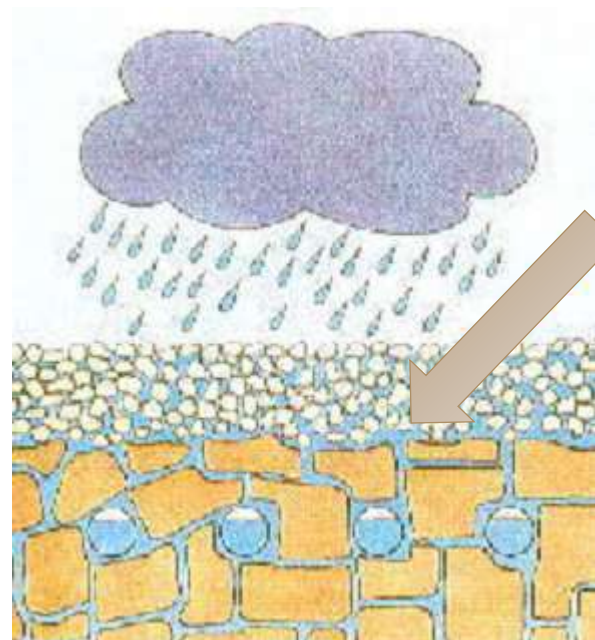
Absorção via interceptação radicular,
fluxo de massa e difusão

O Solo sob preparo- Adequado

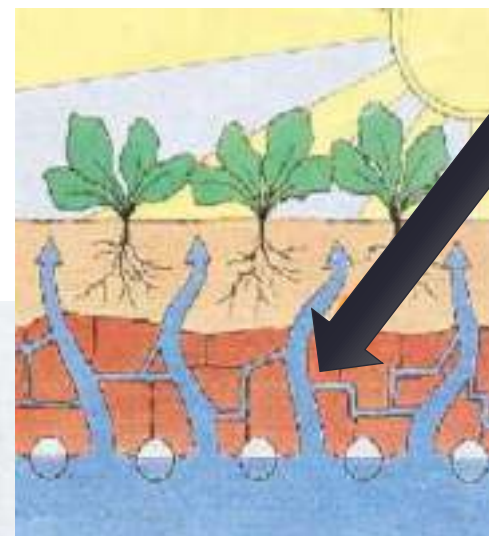
❖ Ambiente propício à plantas

Melhora infiltração

Preserva capilaridade

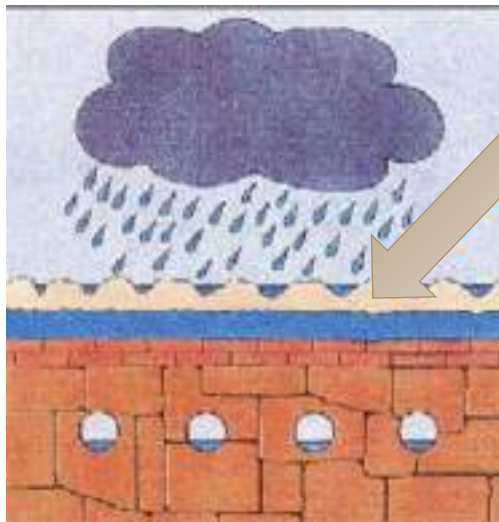


Resistência mecânica adequada

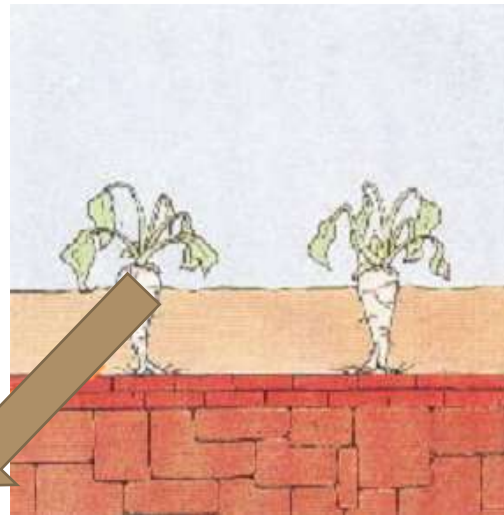
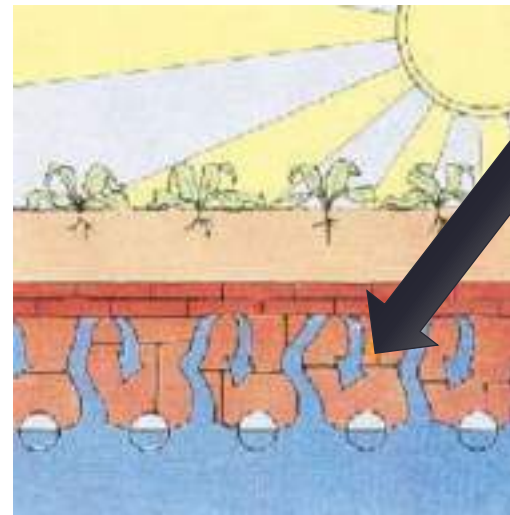


Solo com estrutura degradada

Capilaridade rompida



Infiltração impedida



Resistência mecânica elevada

Diagnóstico para o preparo

❖ Causa 1ª da compactação: Máquinas

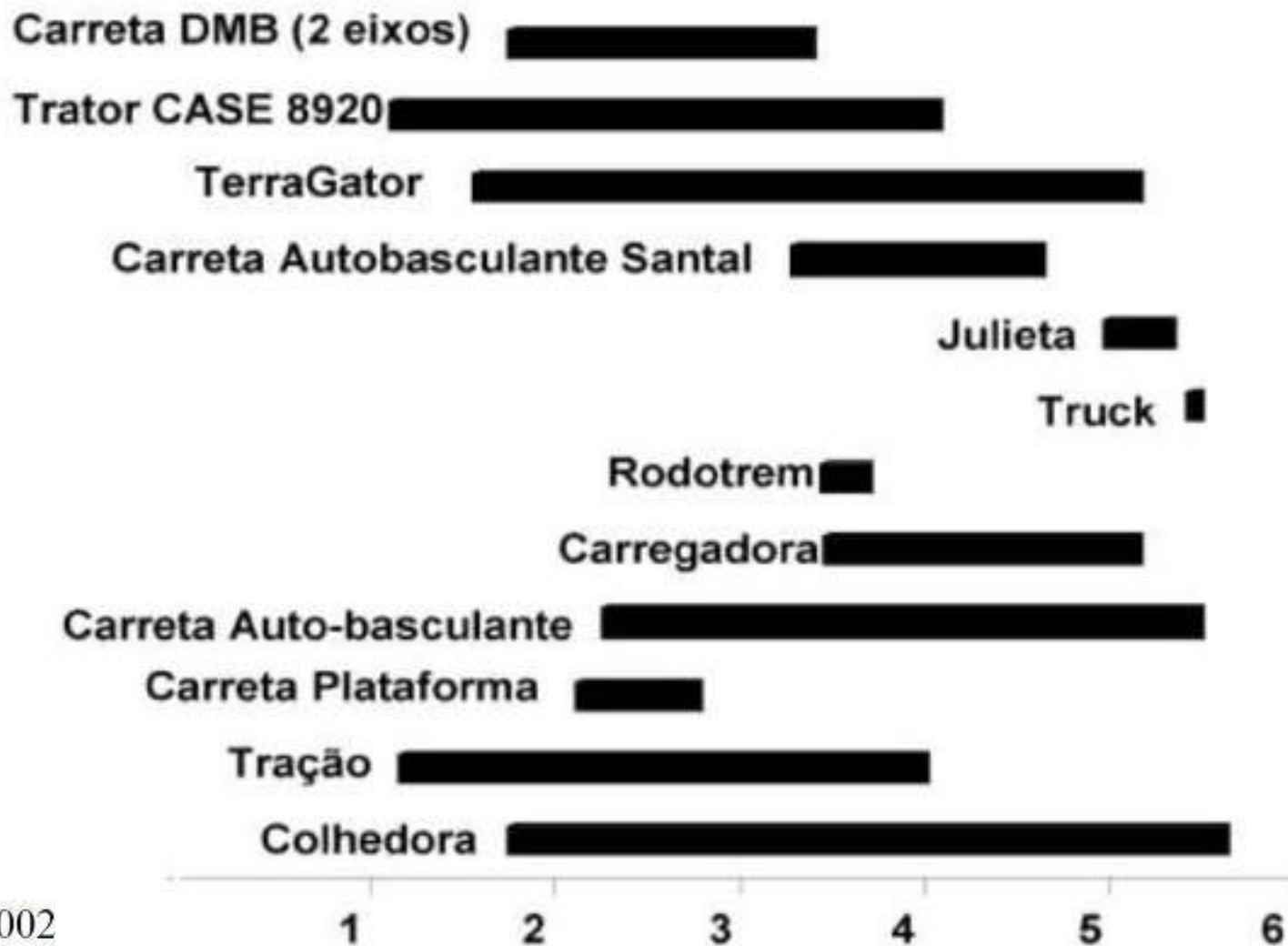
➤ Cargas sobre o solo excedem o limite de deformação plástica

❖ Ex: Pulverizador autopropelido

- Largura dos pneus: $13,6'' = 0,34 \text{ m}$
- Peso do equipamento: 9500 kg
- Pressão de inflação: $22 \text{ a } 50 \text{ lb pol}^2 = 152 \text{ a } 344 \text{ kPa} = 1,5 \text{ a } 3,5 \text{ kg cm}^2$

Cargas entre $1,5$ e 2 kg cm^{-2} podem levar a deformações e restrição ao sistema radicular

Pressão no solo por alguns veículos e pneus (kg/cm²)

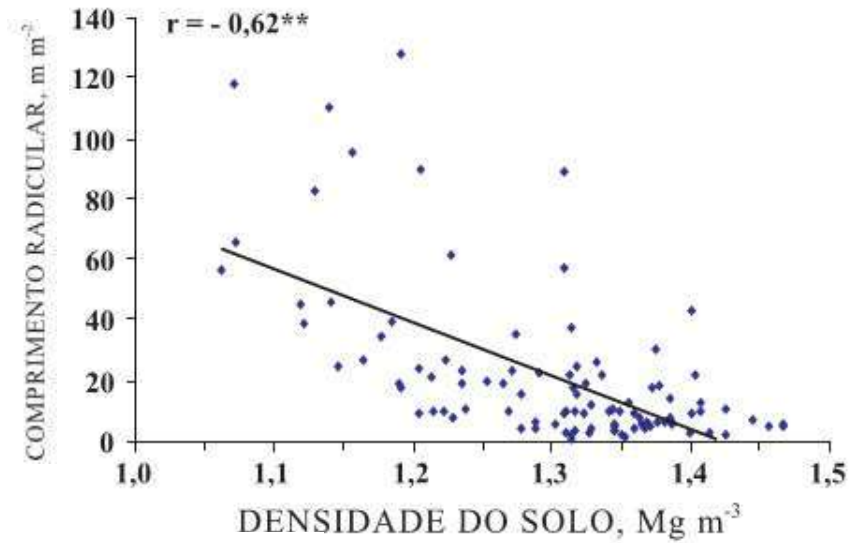
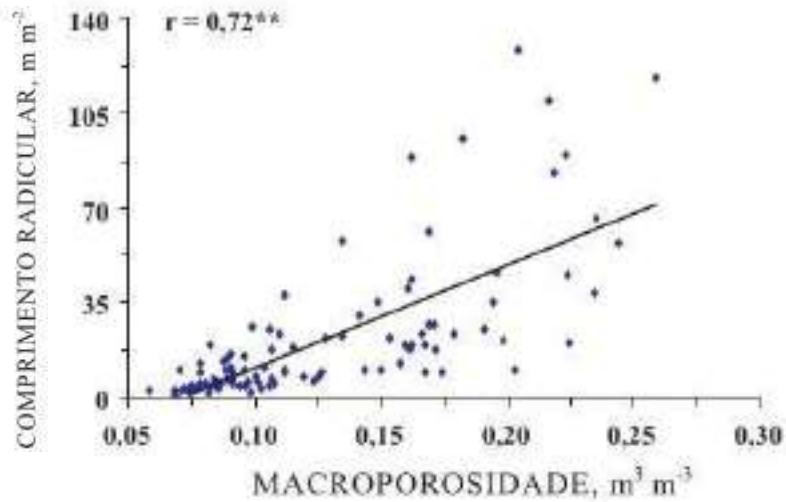


Compactação

Tratamento ⁽¹⁾	Profundidade (m)			
	0,0–0,05	0,05–0,10	0,10–0,15	0,15–0,20
	Comprimento radicular (m m ⁻²)			
PD	101,11 a	69,40 a	31,68 a	17,68 a
PDc1	55,38 b	24,95 b	11,75 b	6,94 b
PDc2	21,71 c	13,24 bc	8,39 bc	4,83 bc
PDc4	20,05 c	9,75 bc	6,12 bc	3,80 bc
PDc6	16,44 c	7,76 c	4,61 c	2,80 c
CV (%)	37,39	45,83	37,69	38,36
	Superfície radicular (cm m ⁻²)			
PD	830,87 a	599,27 a	281,62 a	171,86 a
PDc1	611,31 b	298,06 b	134,41 b	81,23 b
PDc2	241,91 c	132,96 c	82,47 bc	48,25 bc
PDc4	219,60 c	110,28 c	69,22 c	37,52 c
PDc6	165,22 c	76,42 c	41,70 c	25,63 c
CV (%)	38,59	40,75	36,25	40,52
	Diâmetro de raiz (mm)			
PD	0,97 a	1,00 a	0,99 a	0,96 a
PDc1	0,98 a	1,01 a	0,94 ab	0,87 a
PDc2	0,92 ab	0,82 b	0,76 bc	0,74 b
PDc4	0,82 bc	0,89 ab	0,82 abc	0,70 b
PDc6	0,70 c	0,78 b	0,71 c	0,69 b
CV (%)	10,35	13,40	15,18	9,44

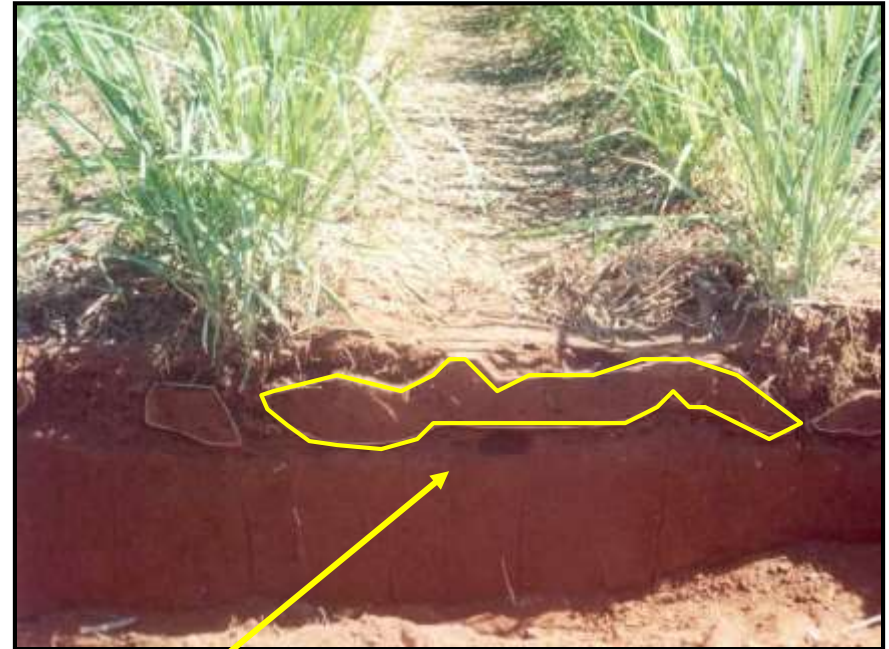
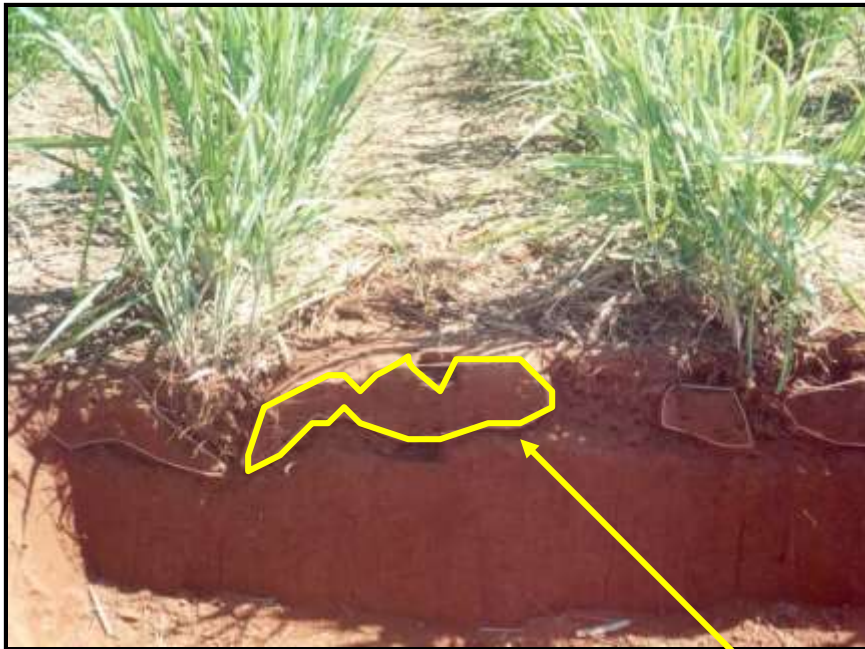
⁽¹⁾ PD: plantio direto sem compactação adicional; PDc1, PDc2, PDc4 e PDc6: correspondem a plantio direto com compactação adicional por tráfego de trator de 5 Mg em uma, duas, quatro e seis passadas, respectivamente. Médias na coluna, seguidas de mesma letra, não diferem pelo teste de Duncan a 5%.

Efeitos da Compactação



Bergamin et al. 2010

Excesso de tráfego



Camada Compactada
0 a 35 cm

Efeitos da Compactação

Entrelinhas - Tráfego

Linha de cana

Diagnóstico da Compactação

❖ Método fundamental

- Exame morfológico do sistema radicular
- Estádio de máximo desenvolvimento da cultura
- Trincheiras com 30 cm de lado e 50 cm de profundidade



Diagnóstico da Compactação

❖ Análise visual do solo

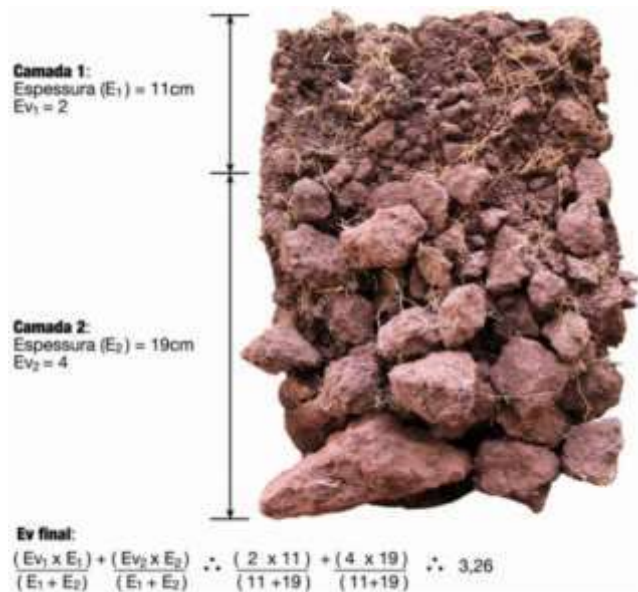


Figura 1 - Exemplo da aplicação da metodologia para obtenção do escore visual (Ev) pelo método de BALL et al. (2007).

Método de avaliação visual da qualidade da estrutura aplicado a Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. Giarola et al. (2009)

Ciência Rural, Santa Maria, v.39, n.8, p.2531-2534

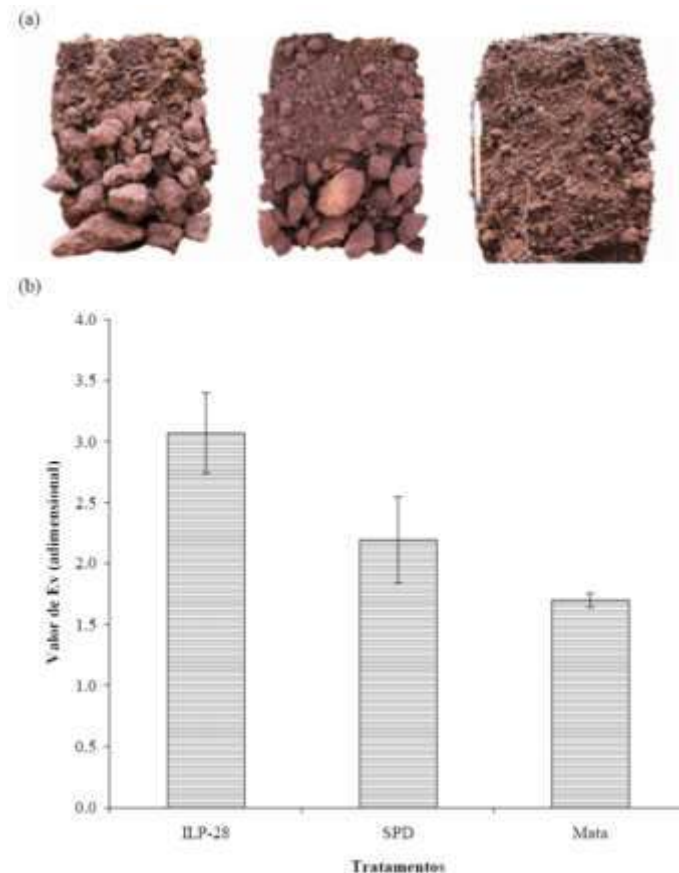


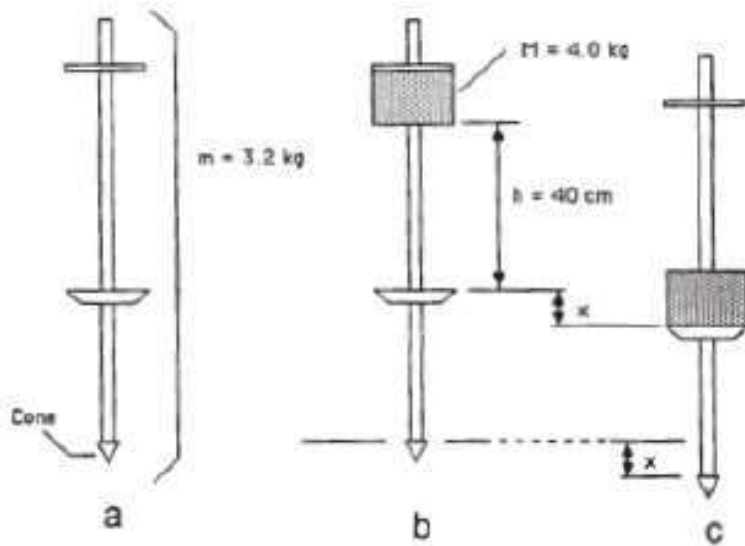
Figura 2 - Amostras representativas dos tratamentos ILP-28, SPD e Mata (a) e respectivos valores médios dos escores de qualidade estrutural (Ev) (b), de acordo com a metodologia de BALL et al. (2007). Em (b), as barras indicam o desvio padrão da média.

Diagnóstico da Compactação

- ❖ Resistência do solo à penetração
 - É uma propriedade dinâmica, se manifesta como resposta à reação do solo à aplicação de forças;
 - A resistência de um dado solo é influenciada pelo teor de água;
 - Proceder à mensuração em condição de umidade padronizada:
 - ❖ Próximo à capacidade de campo;

Diagnóstico da Compactação

- Penetrômetros de carregamento contínuo
 - ❖ Penetração obtida pela aplicação de força contínua na haste
- Penetrômetros de impacto
 - ❖ Penetração através de impactos de uma massa



Diagnóstico da Compactação

- Penetrógrafos → fornecem gráficos da variação da resistência em função da profundidade



Diagnóstico da Compactação

- Penetrógrafos e penetrômetros
 - ❖ Cones padronizados: 30° e 12,83 mm de base
 - ❖ Velocidade de penetração constante: 3 cm s⁻¹
 - ❖ Mensuração em condição de solo Capacidade de Campo
 - ❖ Cuidados na comparação de valores de instrumentos distintos

LVd				LVef			
Densidade do Solo	Penetrômetro Impacto	Penetrômetro Anel	Penetrômetro Eletrônico	Densidade do Solo	Penetrômetro Impacto	Penetrômetro Anel	Penetrômetro Eletrônico
1,17	0,60 Ca	0,47 Ca	0,54 Ca	0,93	0,54 Ca	0,39 Ca	0,40 Ca
1,41	2,97 Ba	2,83 Ba	2,73 Ba	1,15	3,00 Ba	2,25 Bb	1,91 Bb
1,58	4,40 Aa	3,93 Ab	3,61 Ab	1,27	4,96 Aa	3,95 Ab	3,40 Ab
C.V. (%)		6,9				12,1	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si ($P \leq 0,05$).

Beutler et al. (2007)

Diagnóstico da Compactação

➤ Resistência à penetração

- ❖ Mensurada em MPa ou kPa:
- ❖ $1 \text{ kPa} = 0,010 \text{ kg cm}^2$
- ❖ $1 \text{ Mpa} = 10,2 \text{ kg cm}^2$
- ❖ Valor de referência 2 MPa geral
- ❖ Cuidado com valores, há trabalho que demonstra que para a cultura da soja 3 Mpa não é restritivo.

Outros parâmetros

DENSIDADE DO SOLO

Oscila em função da granulometria
Referência: 1,5 kg dm³

Nos arenosos tende a ser maior f(dens. Partícula)

Quadro 1. Valores críticos de densidade do solo (Ds_c) e macroporosidade (Ma_c) baseados na observação de restrições em experimentos de campo.

Autor	Granulometria	Ds_c	Ma_c	Restrição
	g kg ⁻¹	Mg m ⁻³	m ³ m ⁻³	
De Maria et al. (1999)	750 argila 200 silte 50 areia	1,21	-	Redução do crescimento radicular da soja
Strack (2003)	89,3 argila	1,79	0,06	Redução do crescimento radicular e produtividade do feijoeiro
	297 silte			
	614 areia	1,81	0,05	Redução do crescimento radicular e produtividade da soja
Secco (2003)	555 argila	1,62	-	Redução da produtividade do trigo, mas não da soja e do milho
	224 silte			
	221 areia			
	610 argila	1,54	-	Redução da produtividade do trigo e do milho, mas não da soja
	290 silte			
	100 areia			
Beutler et al. (2004b)	271 argila 42 silte 687 areia	1,63	-	Redução do crescimento radicular e produtividade do arroz
Collares (2006)	607 argila	1,49 a	0,07-0,12	Redução do crescimento radicular e produtividade do feijoeiro
	176 silte	1,53		
	217 areia			
	89,3 argila	1,76	0,09	Redução do crescimento radicular do feijoeiro
	297 silte			
	614 areia	1,84	0,08	Redução do crescimento radicular e produtividade do feijoeiro
Suzuki (2005)	278 argila	1,66	0,07	Redução do crescimento radicular da soja
	331 silte			
	391 areia			
	400 argila	1,52	0,06	
	457 silte			
	143 areia			
	546 argila	1,39	0,10	
	341 silte			
114 areia				
654 argila	1,36	0,05	Redução do crescimento radicular e produtividade da soja e redução da produtividade do milho	
261 silte				
86 areia				

Fonte: Reinert et al. (2006).

Outros parâmetros

MACROPOROSIDADE

Referência: $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$

Quadro 1. Valores críticos de densidade do solo (D_{s_c}) e macroporosidade (Ma_c) baseados na observação de restrições em experimentos de campo.

Autor	Granulometria	D_{s_c}	Ma_c	Restrição
	g kg ⁻¹	Mg m ⁻³	m ³ m ⁻³	
De Maria et al. (1999)	750 argila 200 silte 50 areia	1,21	-	Redução do crescimento radicular da soja
Strack (2003)	89,3 argila 297 silte	1,79	0,06	Redução do crescimento radicular e produtividade do feijoeiro
	614 areia	1,81	0,05	Redução do crescimento radicular e produtividade da soja
Secco (2003)	555 argila 224 silte 221 areia	1,62	-	Redução da produtividade do trigo, mas não da soja e do milho
	610 argila 290 silte 100 areia	1,54	-	Redução da produtividade do trigo e do milho, mas não da soja
Beutler et al. (2004b)	271 argila 42 silte 687 areia	1,63	-	Redução do crescimento radicular e produtividade do arroz
Collares (2005)	607 argila 176 silte 217 areia	1,49 a 1,53	0,07-0,12	Redução do crescimento radicular e produtividade do feijoeiro
	89,3 argila 297 silte	1,76	0,09	Redução do crescimento radicular do feijoeiro
	614 areia	1,84	0,08	Redução do crescimento radicular e produtividade do feijoeiro
Suzuki (2005)	278 argila 331 silte 391 areia	1,66	0,07	
	400 argila 457 silte 143 areia	1,52	0,06	Redução do crescimento radicular da soja
	546 argila 341 silte 114 areia	1,39	0,10	
	654 argila 261 silte 86 areia	1,36	0,05	Redução do crescimento radicular e produtividade da soja e redução da produtividade do milho

Fonte: Reinert et al. (2006).

Outros parâmetros

GRAU DE COMPACTAÇÃO

Relação entre as densidades da amostra que se deseja caracterizar e aquela obtida através da sua submissão a uma pressão padronizada

Referência 77 a 88%

Outros parâmetros

PRESSÃO DE PRECONSOLIDAÇÃO

Obtida em laboratório através da aplicação de cargas crescentes sobre amostras indeformadas Indicativo da capacidade de suporte do solo que caso superada promove compactação adicional

Quadro 2. Valores médios de pressão de pressão de preconsolidação (kPa) em função do estado inicial de compactação de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e um Latossolo Vermelho distrófico típico. Amostras com grau de saturação em água na faixa de 50 a 80 %.

Profundidade (m)	Densidade do solo (kg dm ⁻³)			
	1,31-1,45	1,46-1,60	1,61-1,75	1,76-1,80
	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico			
0,00-0,02	70,9	73,1	115,6	132,6
0,10-0,12	62,3	91,7	98,5	105,4
	Latossolo Vermelho distrófico típico			
0,00-0,02	50,8	99,4	168,3	
0,10-0,12	70,5	100,5	131,9	

Fonte: Silva et al. (2002a).

Quadro 3. Valores médios de pressão de pressão de preconsolidação (kPa) em função grau de saturação em água de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e um Latossolo Vermelho distrófico típico.

Profundidade (m)	Grau de saturação (%)						
	<15	16-30	31-45	46-60	61-75	76-90	91-100
	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico						
0,00-0,02 ⁽¹⁾	160,2	136,4	72,4	69,6	70,4	67,9	nd
0,10-0,12 ⁽²⁾	139,0	156,0	156,2	141,2	119,3	112,1	87,0
	Latossolo Vermelho distrófico típico						
0,00-0,02 ⁽³⁾	176,8	nd	159,4	128,7	78,2	88,6	76,6
0,10-0,12 ⁽³⁾	86,9	140,4	152,8	160,7	98,7	76,4	53,9

⁽¹⁾ Densidade do solo = 1,46-1,60 kg dm⁻³; ⁽²⁾ Densidade do solo = 1,61-1,75 kg dm⁻³; ⁽³⁾ Densidade do solo = 1,30 a 1,45 kg dm⁻³; nd = não determinado.

Fonte: Silva et al. (2002b).

PROPRIEDADES DO SOLO E SEU EFEITO SOBRE O PREPARO

Compactação

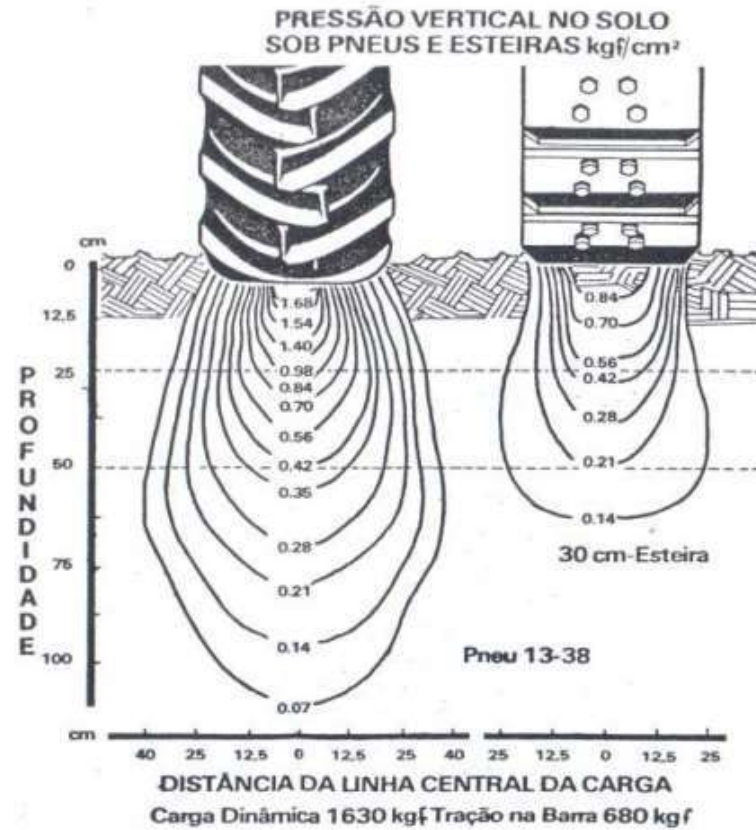
- ❖ Alteração da estrutura com redução do espaço poroso

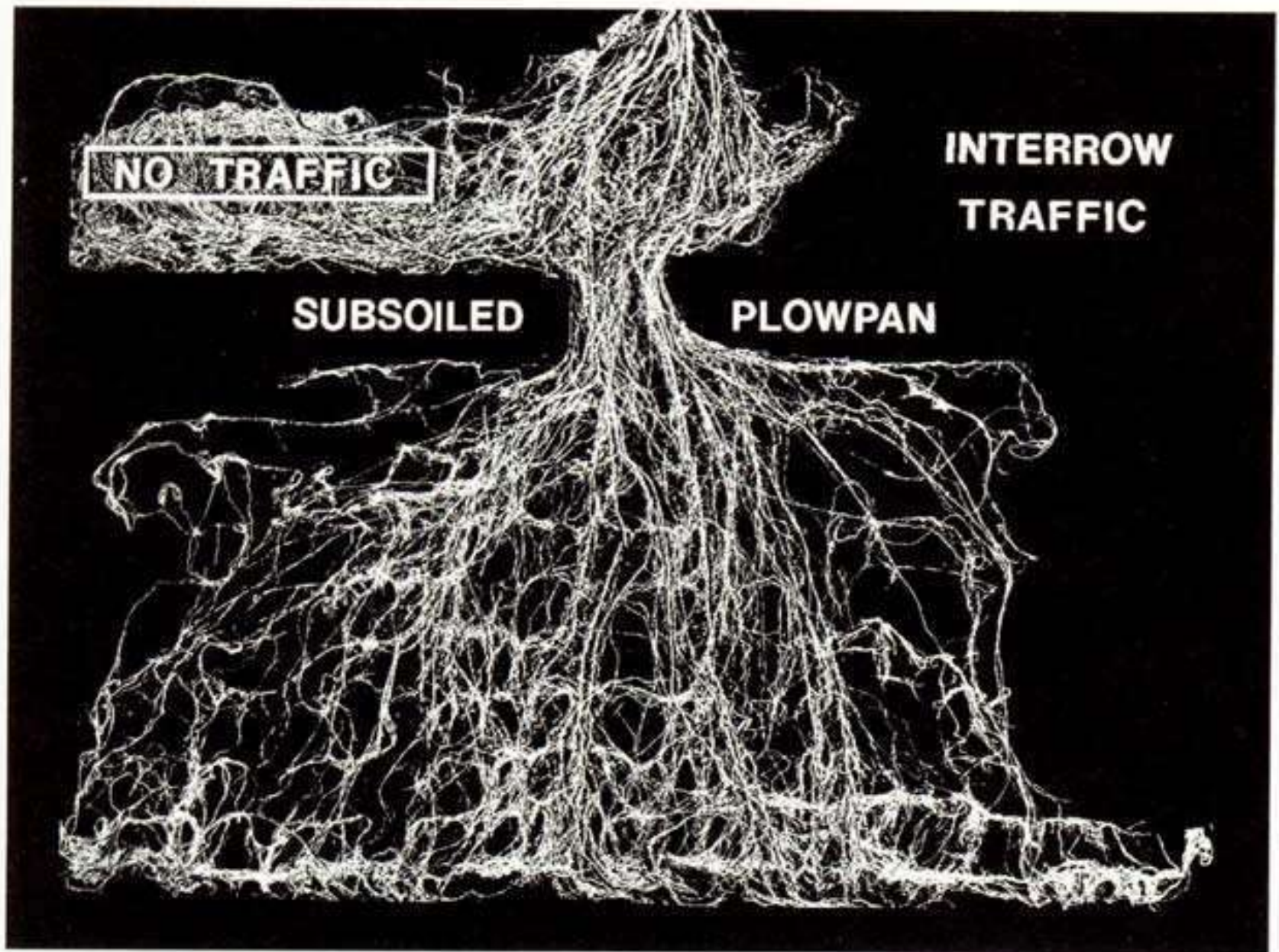
Redução do espaço poroso do solo causada pelo manejo

Adensamento do solo pela aplicação de energia mecânica

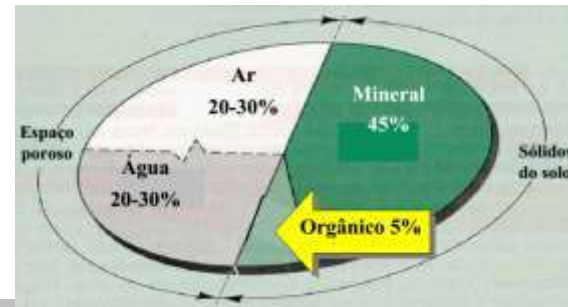
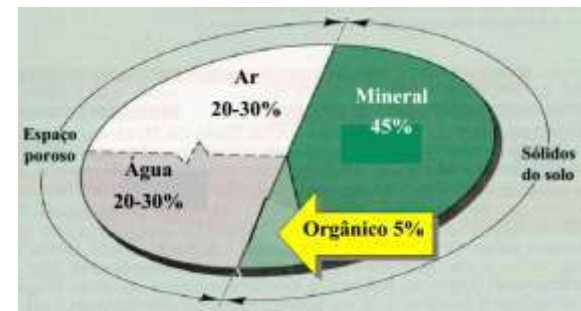
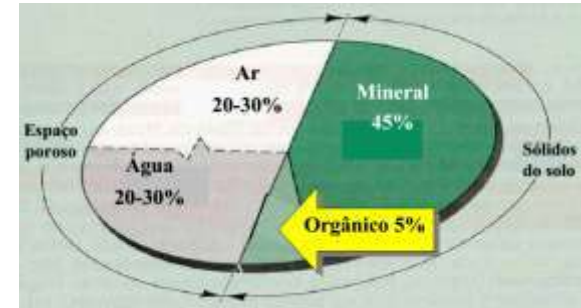
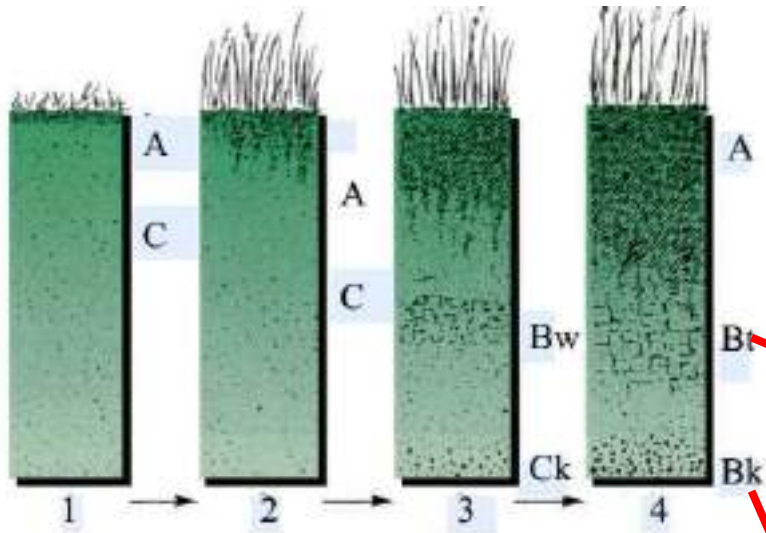
$$\downarrow \alpha = \frac{V_P}{V_T} \downarrow \quad \uparrow d = \frac{M_S}{V_T} \downarrow$$

Fenômeno da compactação



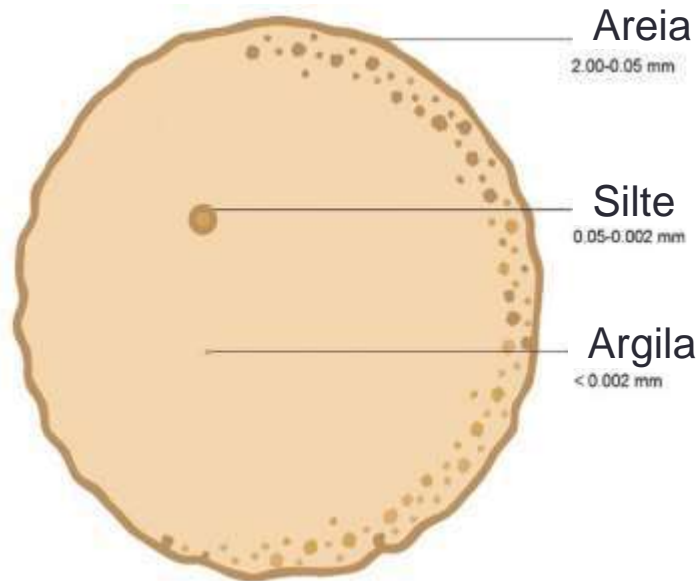


Trifásico e heterogêneo



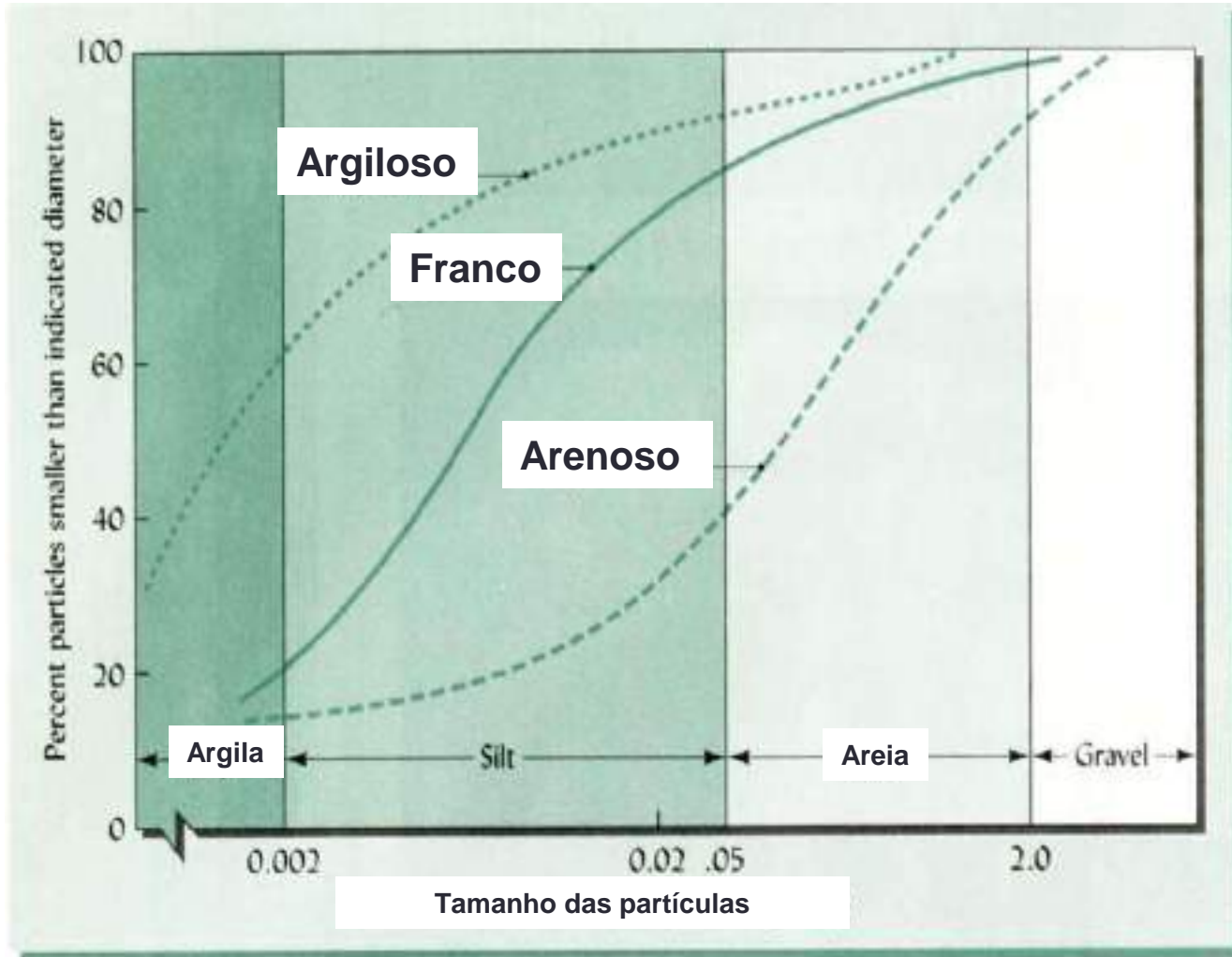
Composição Granulométrica

- descreve a proporção relativa das classes de tamanho das partículas que compõe um solo
- Percepção ao sentido do tato: **textura do solo**

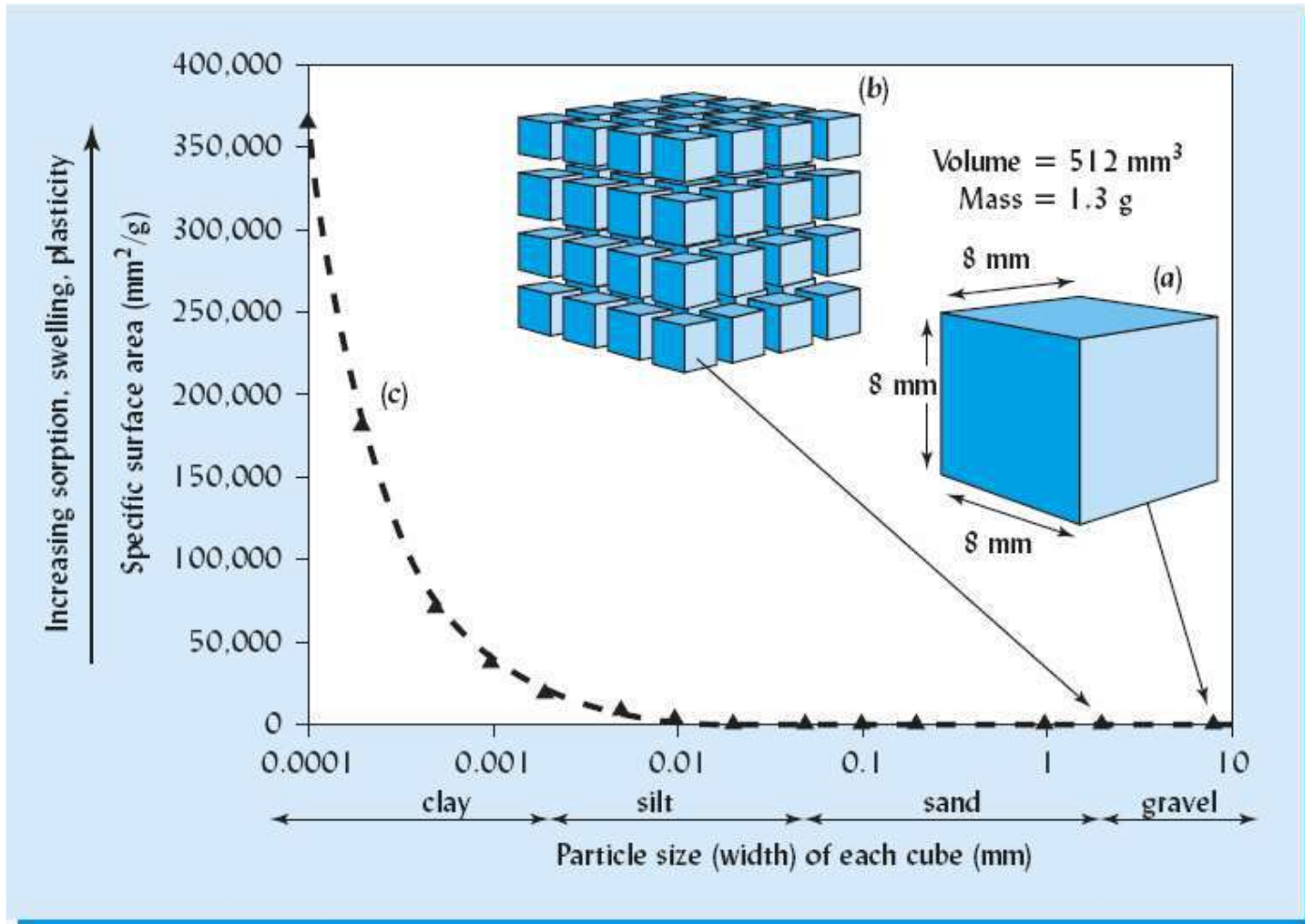


Argila de tamanho coloidal possui área superficial cerca de 10.000 vezes maior do que a mesma massa de areia de tamanho médio

Solo – Fundamentação para o preparo



Solo – Fundamentação para o preparo



Comportamento f(granulometria)

<i>Propriedades/Comportamento do solo</i>	<i>Areia</i>	<i>Silte</i>	<i>Argila</i>
Capacidade de retenção água	Baixa	Média a alta	Alta
Aeração	Boa	Média	Pobre
Taxa de drenagem	Alta	Lenta a média	Muito lenta
Teor de matéria orgânica no solo	Baixo	Médio a alto	Alto a médio
Decomposição da matéria orgânica	Rápida	Média	Lenta
Aquecimento na primavera	Rápido	Moderado	Lento
Susceptibilidade à compactação	Baixa	Média	Alta
Susceptibilidade a erosão eólica	Moderada	Alta	Baixa
Susceptibilidade a erosão hidrica	Baixa	Alta	Solo agregado – baixa Solo não agregado - alta
Potencial de expansão e contração	Muito baixo	Baixo	Moderado a muito alto
Adequabilidade para construção de represas e aterros	Baixa	Baixa	Alta
Capacidade de cultivo após chuva	Boa	Média	Baixa
Potencial de lixiviação de poluentes	Alto	Médio	Baixo
Capacidade de armazenamento de nutrientes	Baixa	Média a alta	Alta
Resistência à mudança de pH	Baixa	Média	Alta

Estrutura do solo

- ❖ Padrão distintamente estruturado de partículas interligadas, associadas em ***agregados***, apresentando tamanho e formato regulares.

Aggregados: grupos de partículas individuais, ligadas umas às outras pela ação de agentes cimentantes e de forças de coesão e adesão



Estrutura do solo

- ❖ A formação dos agregados está condicionada à disponibilidade de forças mecânicas que aproximam e colocam em contato as partículas e à presença de agentes cimentantes, que as mantêm unidas.

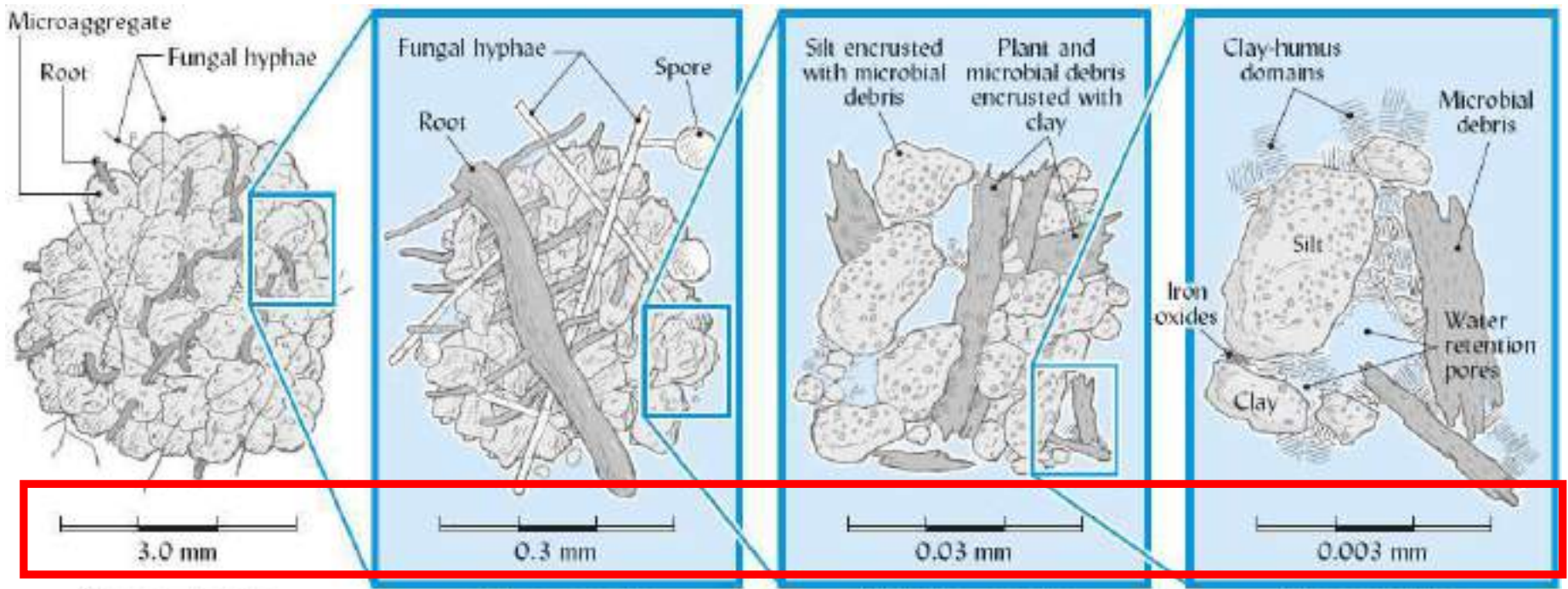
Forças: gravidade, raízes, contração e expansão, fauna do solo

Cimentantes: argila, matéria orgânica, sesquióxidos Fe e Al, micélios de fungos, polissacarídeos, dejetos de minhocas

Estabilidade da estrutura

- É determinada pela estabilidade dos agregados.
- Aumenta com o aumento do número de pontos de contato entre as partículas constituintes: fraca, moderada e forte.
- Determina a resistência do solo quando submetido à ação de forças externas.

Compreendendo os Agregados



Macroaggregate

- Roots
- Hyphae

Macroagregado

Microaggregate

- Root hairs
- Hyphae
- Polysaccharides

Microagregado

Submicroaggregate

- Mineral grains encrusted with plant and microbial debris
- Plant debris coated with clay

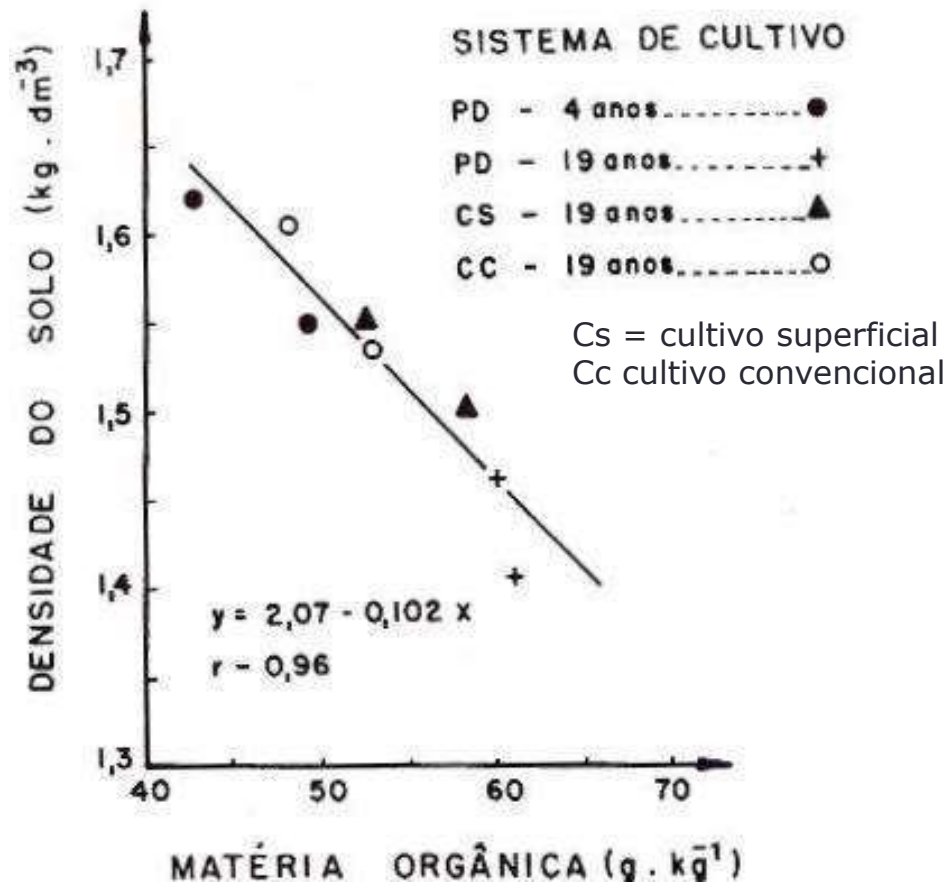
Sub microagregado

Primary particles

- Clay and clay-humus domains

Partículas primárias

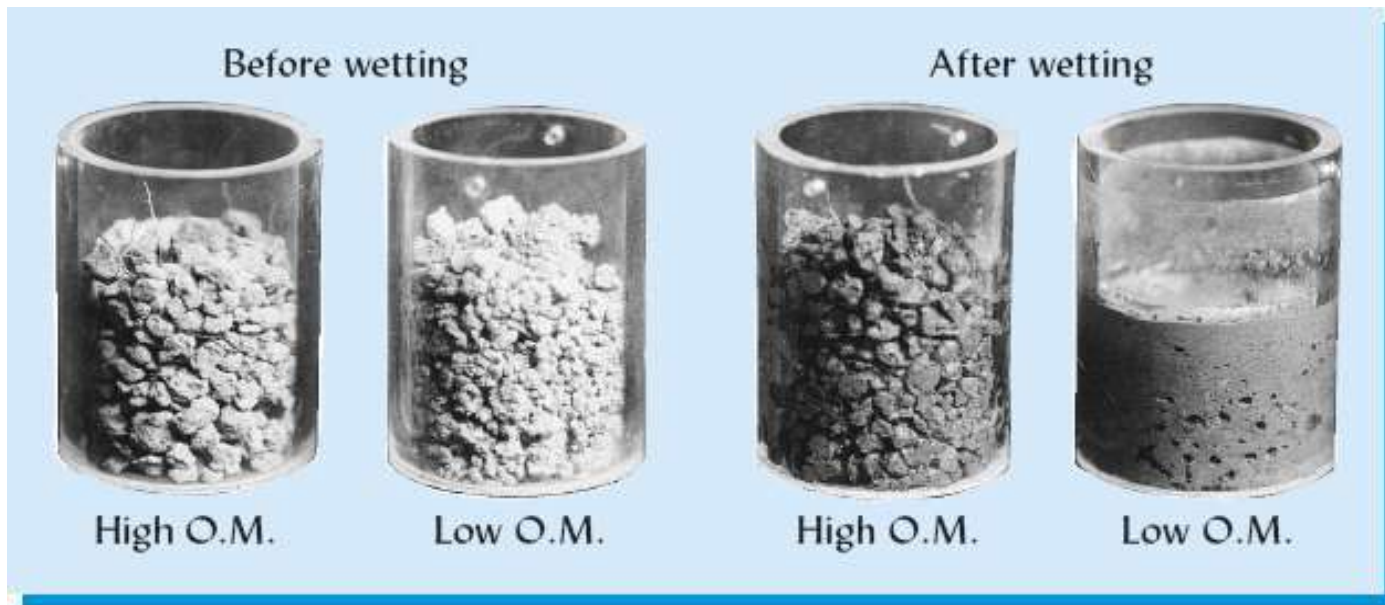
Importância da Matéria Orgânica



Ball et al., 1988

Importância da Matéria Orgânica

- ❖ **Agente cimentante** que favorece a agregação e estabilidade dos agregados

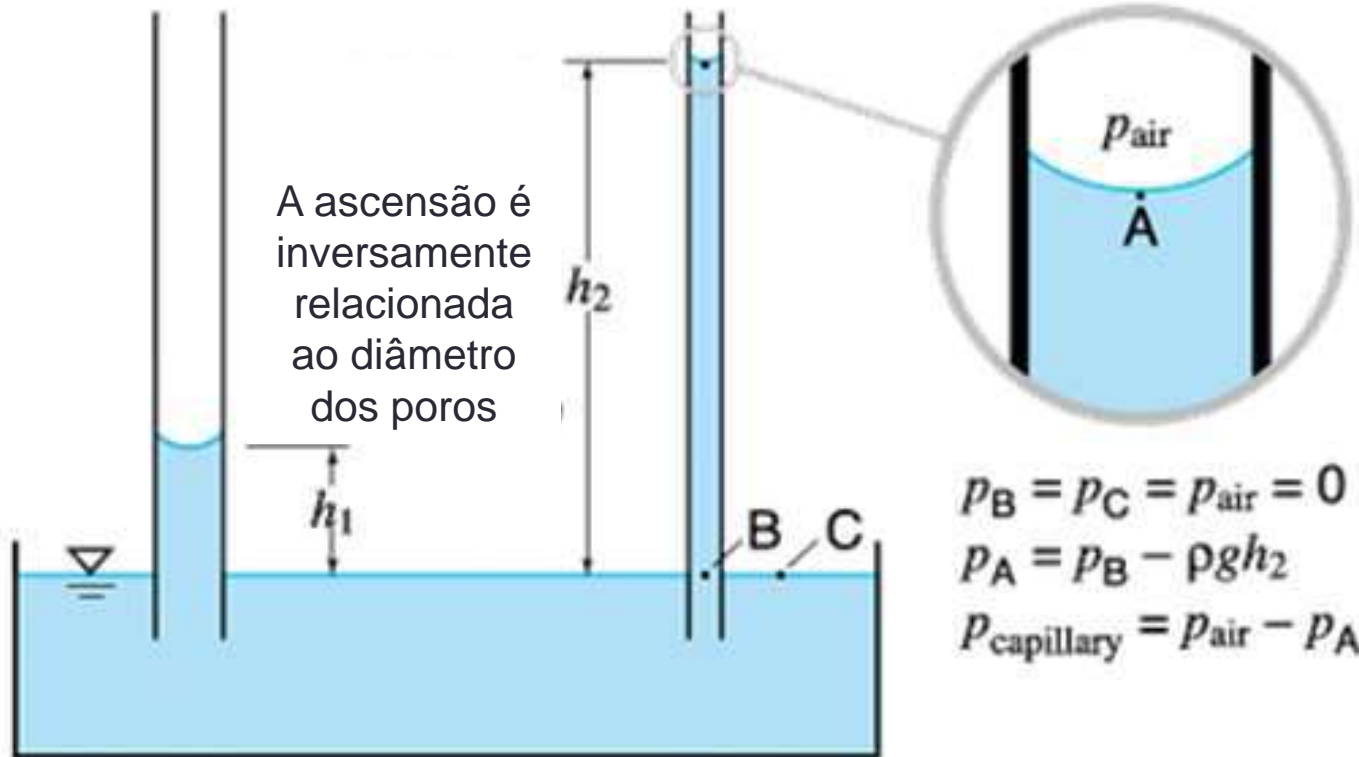


Fenômeno da Capilaridade

❖ Capilaridade

Macroporos do solo

Microporos do solo



Forças atuando na agregação

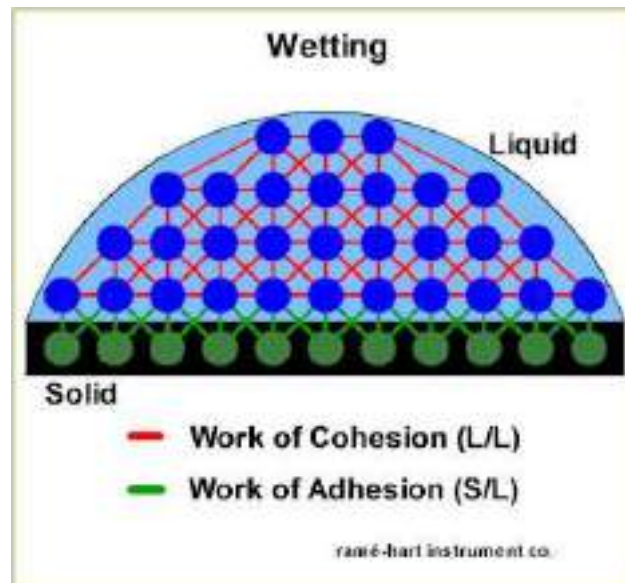
Coesão: capacidade que uma substância tem de permanecer unida, resistindo à separação, pois as moléculas estão fortemente aderidas umas às outras



A tensão superficial de um líquido está diretamente relacionada à sua coesão

Forças atuando na agregação

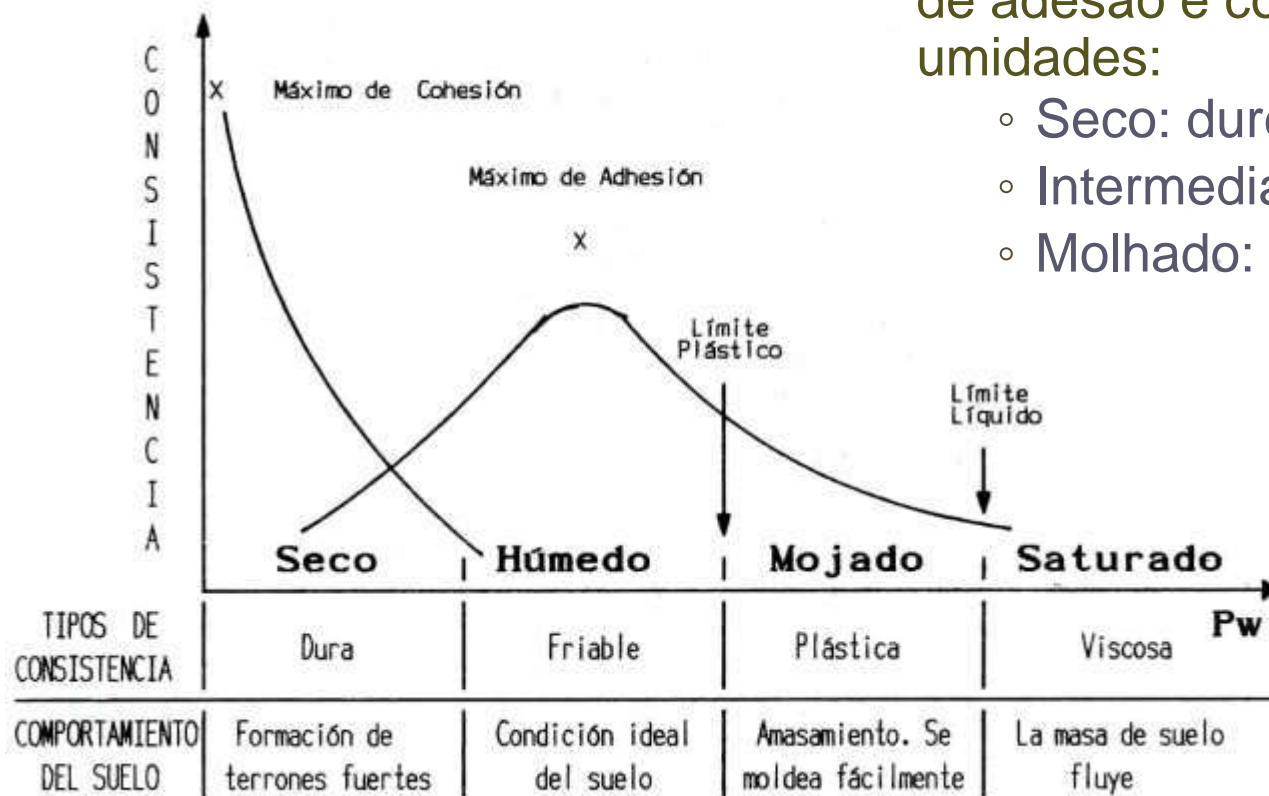
Adesão: força atrativa que atua entre um líquido e a superfície de um sólido quando estes estão em contato direto.

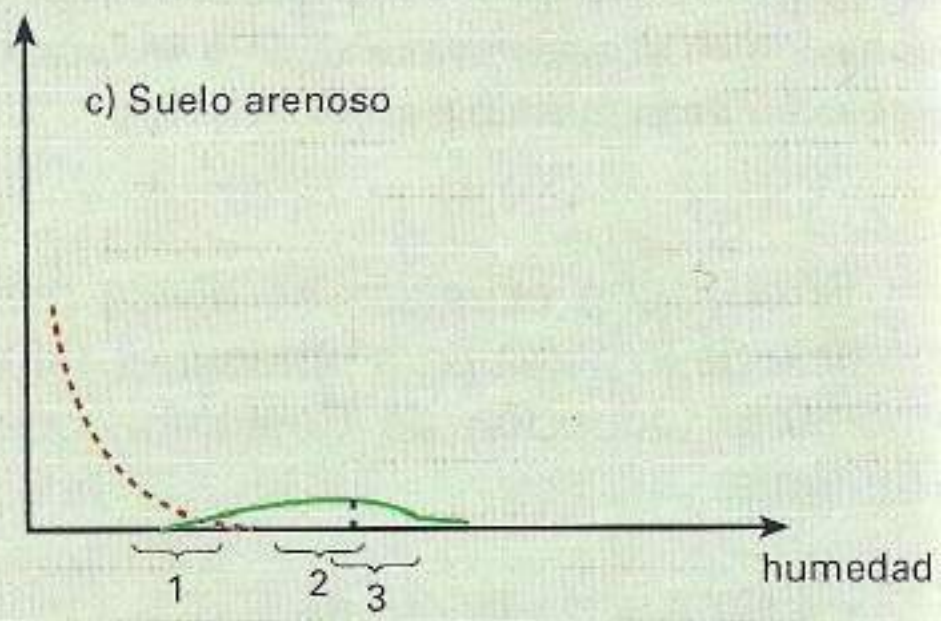
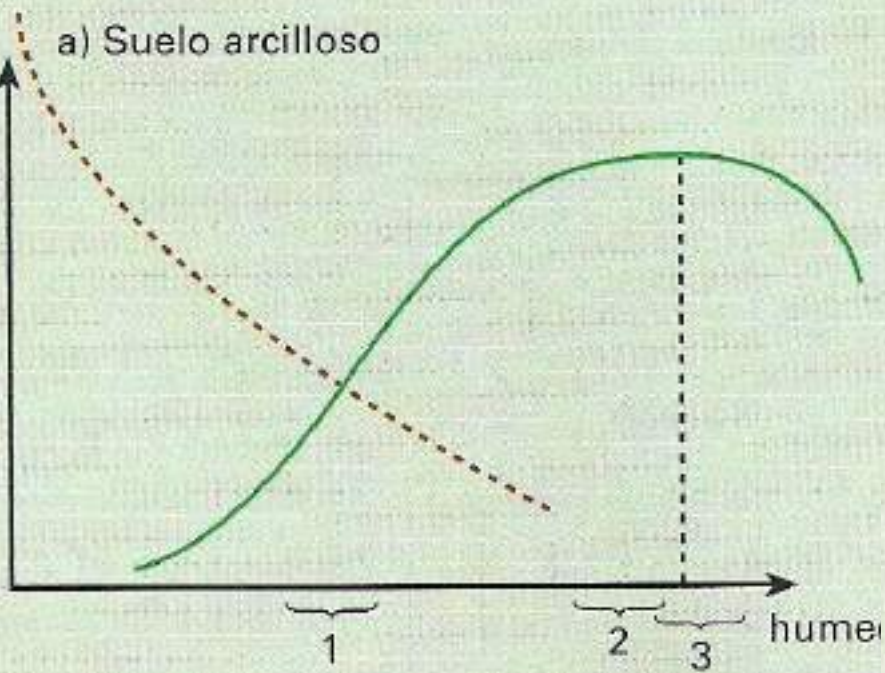


Consistência do solo

Em função da variação conjugada de adesão e coesão em diferentes umidades:

- Seco: dureza, tenacidade
- Intermediária: friabilidade
- Molhado: plasticidade





----- Coesão ————— Adesão

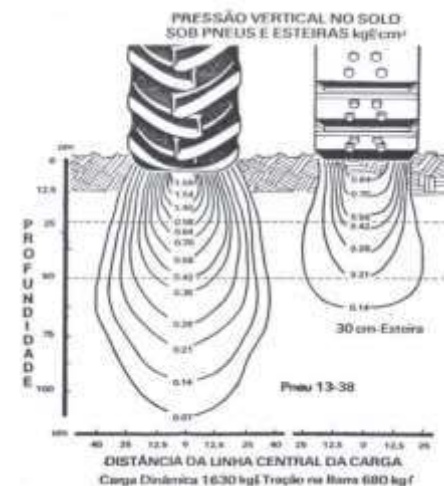
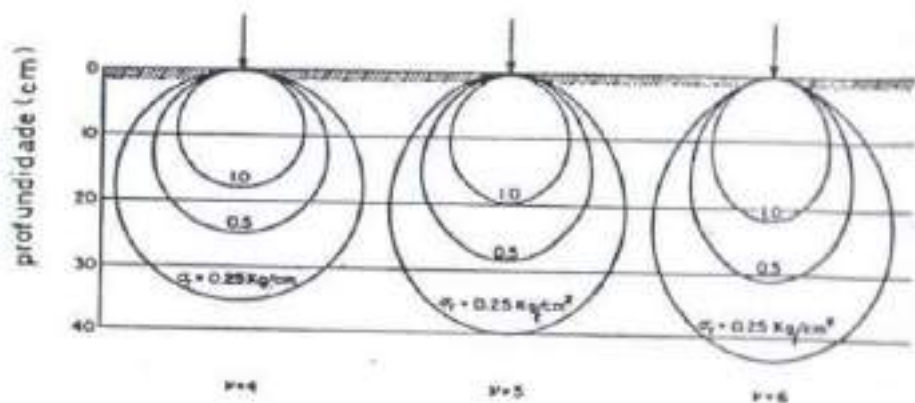
O Solo sob preparo

- ❖ Resistência do solo à desagregação
 - Como o solo responde às forças externas que tendem a rompe-lo ou deforma-lo;
 - Argilominerais na presença de água apresentam propriedades plásticas;
 - A determinação do conteúdo adequado de água no solo é fundamental para o sucesso do preparo;
 - A umidade afeta diretamente a resistência do solo ao preparo e a capacidade de suporte de carga.

O Solo sob preparo

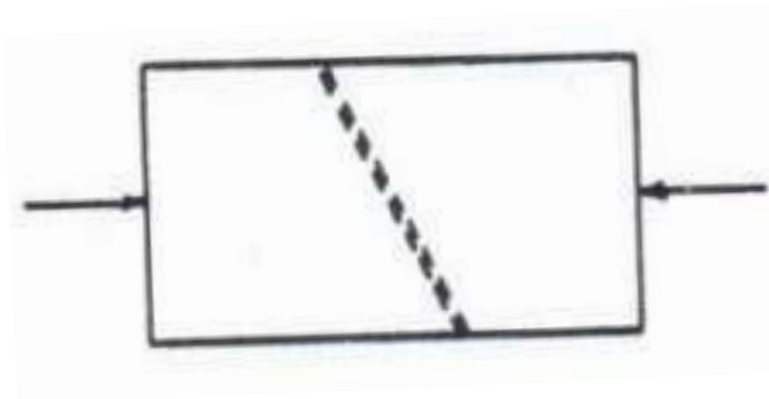
❖ Resistência do solo à desagregação

- A transmissão de tensões no solo é realizada através dos pontos de contato entre as partículas;
- Devido ao arranjo ao acaso das partículas, os pontos de contato estão espalhados ao acaso;
- As tensões se distribuem através de uma rota formada pela localização dos pontos de contato



O Solo sob preparo

- ❖ Resistência do solo à desagregação
 - A aplicação de forças de tensão ou compressão no solo produz deformação;
 - Com a elevação das forças ocorre o rompimento do solo - cisalhamento



O Solo sob preparo

❖ Resistência do solo à desagregação

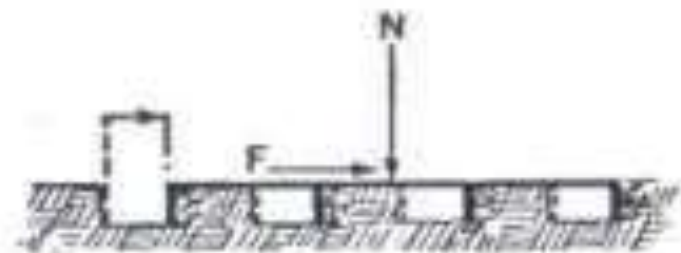
$$\tau = C + \sigma \tan \phi$$

C = coesão do solo

ϕ = ângulo de atrito interno

σ = tensão normal (tração ou compressão)

τ = tensão de cisalhamento



$$\mu = F/N = \tan \psi$$

F = força de atrito tangente à superfície

N = força normal à superfície

μ = coeficiente de atrito (solo em solo)

ψ = ângulo cuja tangente é μ



O Solo sob preparo

❖ Umidade do Solo para Preparo

- Arado e a grade - Quando o solo estiver na faixa de umidade friável
 - ❖ de 60% a 70% da capacidade de campo, para solos argilosos
 - ❖ de 60% a 80%, para solos arenosos
- Escarificador – rompimento por compressão
 - ❖ 30% a 40% da capacidade de campo, para solos argilosos

EQUIPAMENTOS PARA MOBILIZAÇÃO DO SOLO

A definição do tipo de preparo do solo a ser adotado, numa dada situação, não deve ser determinado pelo tipo de equipamento disponível mas sim por parâmetros caracterizadores da condição final desejável para a camada mobilizada

Máquinas para mobilização periódica do solo

- ❖ Destinadas a promover alterações na estrutura macroscópica dos horizontes superiores do solo
 - ❖ Leito de Semeadura
 - ❖ Leito radicular

Máquinas para mobilização periódica do solo

- O grau de adequação de uma determinada máquina de preparo de solo à dada condição operacional é avaliada através da relação entre a mobilização resultante e aquela que seria desejável
- Os parâmetros de desempenho dessas máquinas levam em conta a interação dos seus órgãos ativos com o meio operatório

Formas de mobilização periódica do solo

- ❖ Dois efeitos principais desejados:
 - Rompimento da massa contínua do solo em blocos e agregados de diferentes tamanhos;
 - ❖ Preparo primário
 - Quebra de blocos e agregados de maiores dimensões
 - ❖ Preparo secundário

Formas de mobilização periódica do solo

❖ Outros efeitos concomitantes

- Nivelamento superficial
- Incorporação: corretivos, restos culturais, fertilizantes
- Arrancamento de soqueiras
- Controle de ervas

Formas de mobilização periódica do solo

❖ Métodos para provocar o rompimento do solo

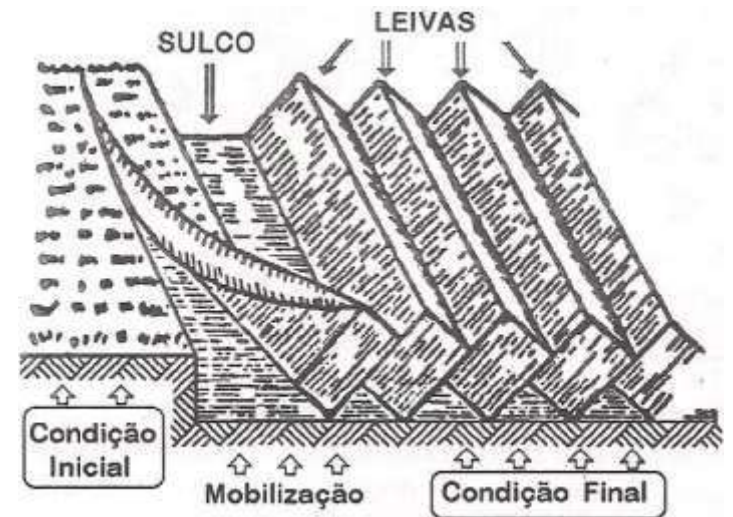
- Inversão de camadas
- Deslocamento lateral-horizantal
- Revolvimento rotativo
- Desagregação subsuperficial / preparo vertical

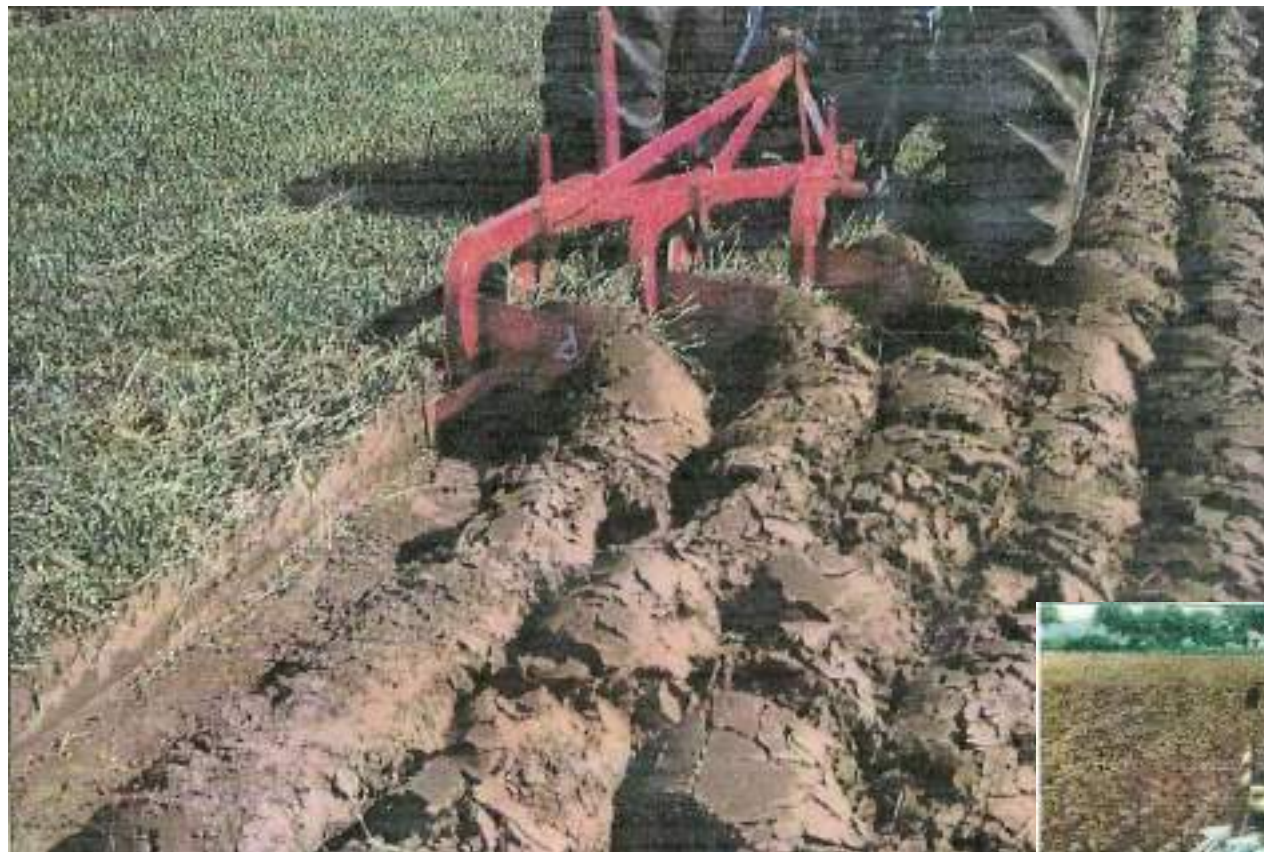
Cisalhamento por **corte e deslocamento**

Cisalhamento por **compressão**

Inversão de camadas

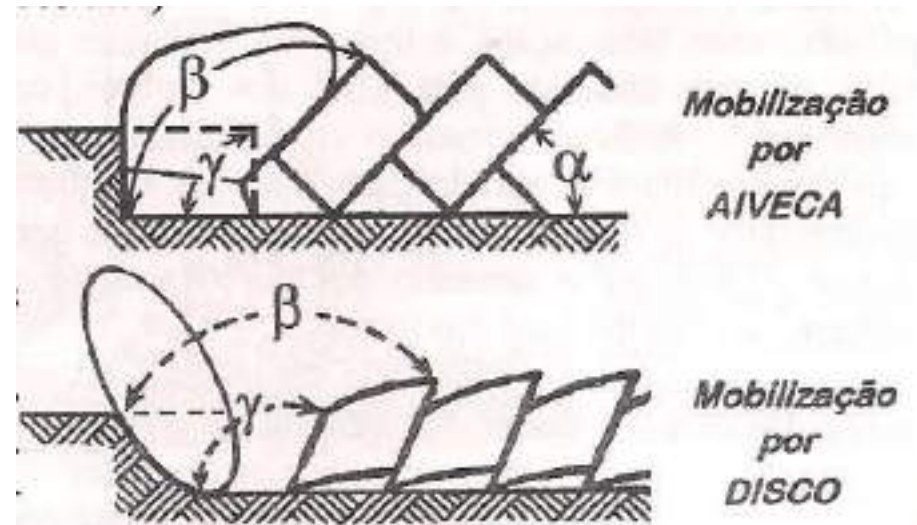
- Arados de aivecas ou discos
 - ❖ Cortam uma fatia de solo – leiva
 - ❖ Elevação e inversão
 - ❖ Lançamento lateral





Inversão de camadas

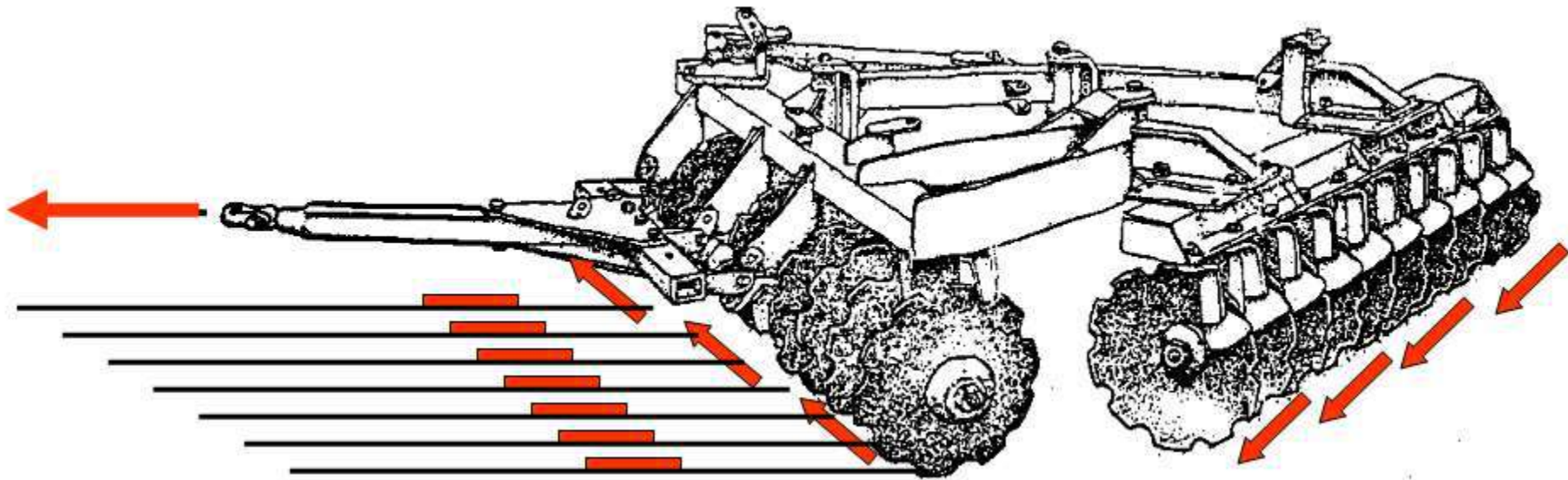
- ❖ Condição final da Inversão de camadas
 - Características do órgão ativo
 - Condições de operação
 - Características do terreno



Deslocamento lateral-horizantal

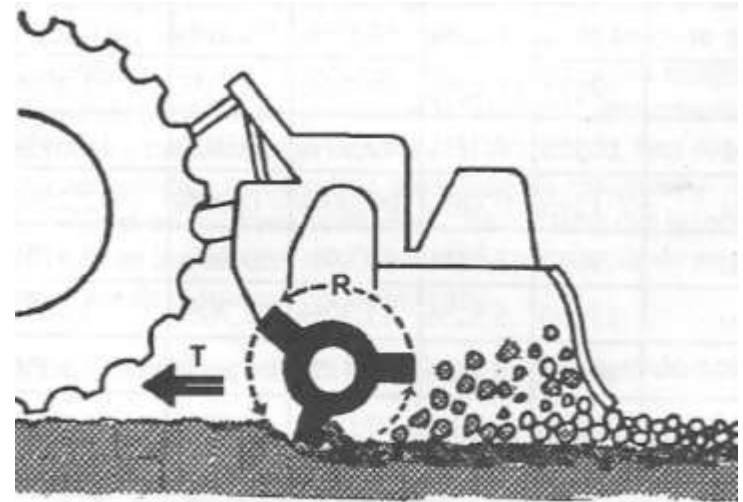
- ❖ Ao se deslocarem provocam uma movimentação lateral e horizontal da porção em contato com o órgão ativo;
- ❖ Grades de dentes – quebra dos torrões por impacto e em linhas naturais de ruptura
- ❖ Grades de discos – ação combinada de corte e impacto → maior efeito desagregador

Deslocamento lateral-horizontal



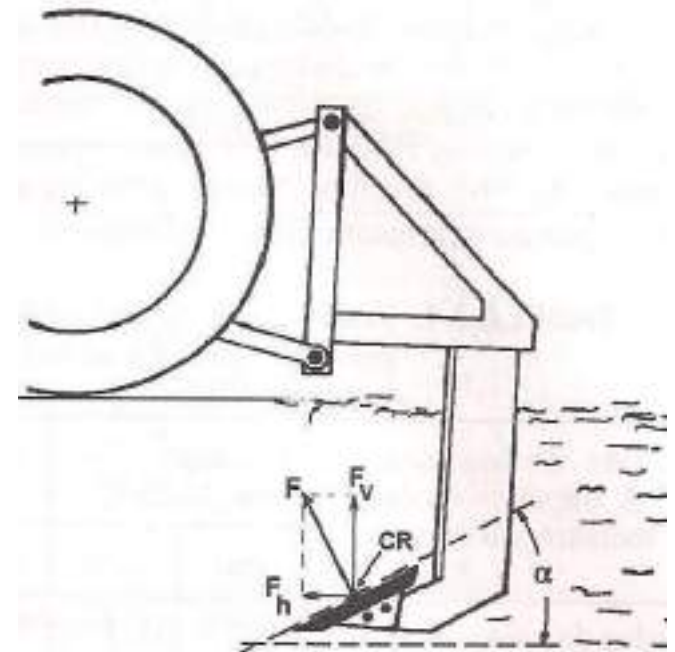
Revolvimento rotativo

- Facas rotativas acionadas pela TDP dos tratores;
- Solo cortado em pequenas porções e atirado para trás;
- Enxadas rotativas

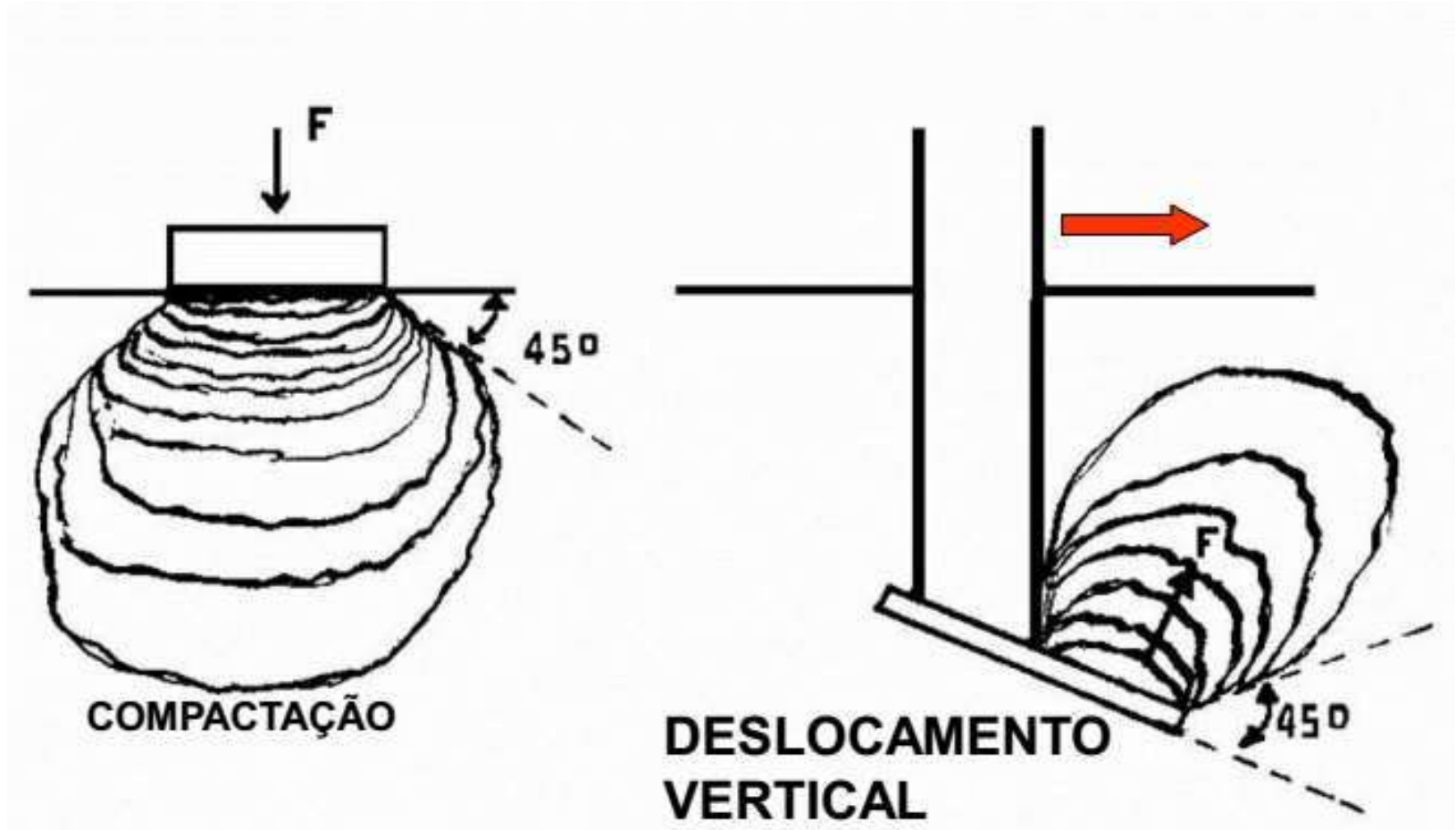


Desagregação subsuperficial

- Rompimento da massa de solo à frente e lateralmente;
- Desagregação ocorre de baixo para cima;
- Subsolador, Escarificador



Desagregação subsuperficial

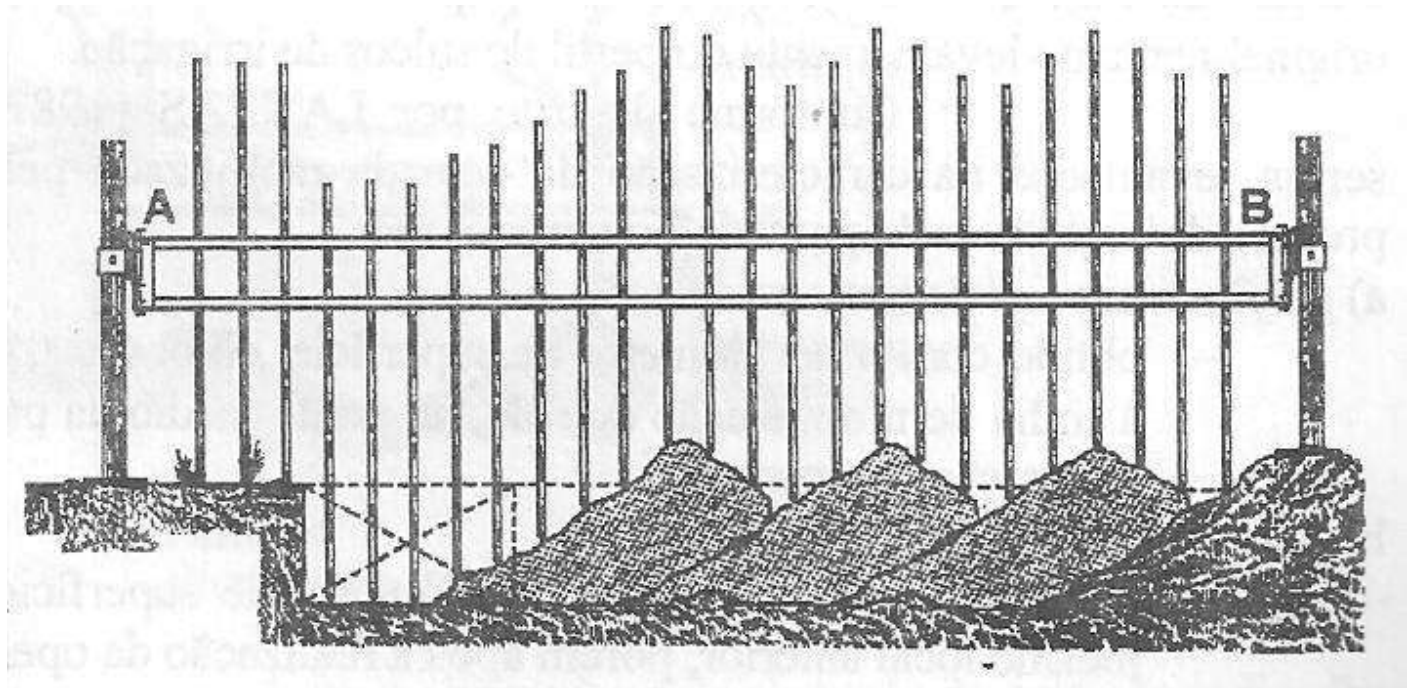


Avaliação de máquinas de preparo periódico

❖ Quantitativa

➤ Massa e volume de solo mobilizado

❖ Perfil transversal



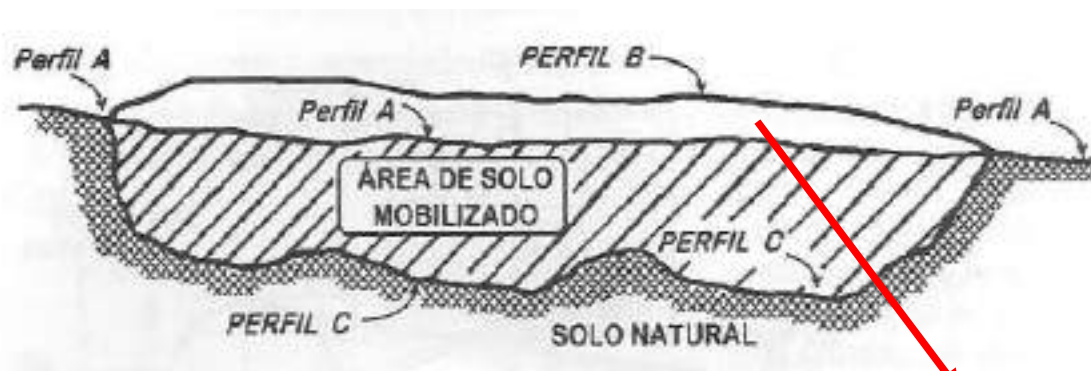
Avaliação de máquinas de preparo periódico

❖ Quantitativa

➤ Massa e volume de solo mobilizado

❖ Perfil transversal

Perfil A: superfície natural do solo – antes da operação



Perfil B: superfície final do solo – após a operação

Perfil C: interno do solo mobilizado – após a operação e remoção do solo mobilizado

$$\epsilon = \frac{A_e}{A_m} \times 100$$

Empolamento

Avaliação de máquinas de preparo periódico

❖ Qualitativa

- Estado final do solo após a passagem da máquina
 - ❖ Intensidade da desagregação da massa de solo mobilizado
 - ❖ Rugosidade do micro relevo

Avaliação de máquinas de preparo periódico

- ❖ Dinamométrica e de eficiência Operacional
 - Força de tração
 - Velocidade de deslocamento
 - Avaliar o dispêndio de energia e o tempo na realização da operação – Eficiência

A máquina que mobiliza o solo com grande eficiência energética ou operacional, nem sempre é a que fornece as melhores condições finais recomendadas para um determinado tipo de cultura



FIM

Leandro M. Gimenez

Imgimenez@usp.br