

**ESALQ**Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz  
Universidade de São Paulo

## **Rotação de culturas e indicadores da qualidade física de solo: análise crítica dos métodos**

**Prof. Dr. Maurício Roberto Cherubin**

### **Tópicos da aula**

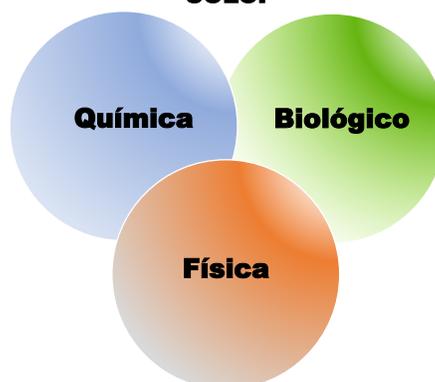
Manejo do solo & crescimento radicular  
Prof. Dr. Maurício R. Cherubin

1. Qualidade física do solo e sua relação com o crescimento das plantas?
2. Monitoramento da qualidade física do solo
3. Práticas de manejo visando atenuar restrições físicas ao crescimento das plantas

## Restrições do solo ao desenvolvimento do sistema radicular



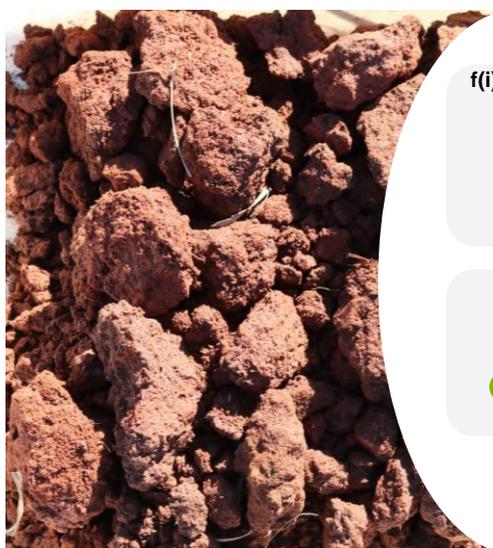
### Causas relacionadas ao SOLO:



3

## Qualidade física do solo

Capacidade do solo exercer as seguintes funções físicas:



f(i): Prover a infiltração de água da chuva, retenção e adequada fornecimento de água aos processos biológicos  
**(Armazenamento, fluxos e disponibilidade de água)**

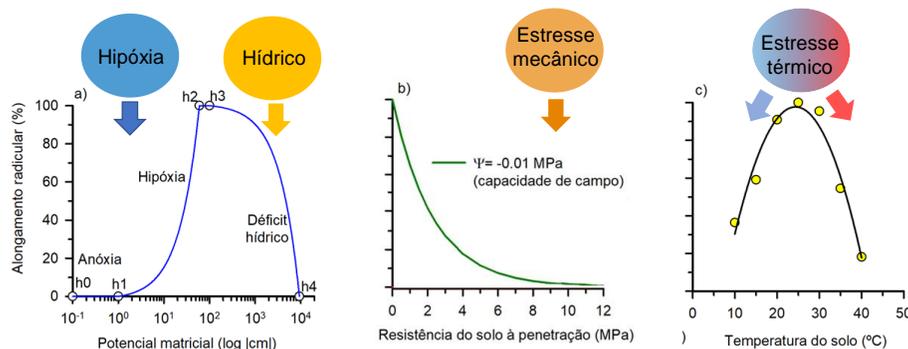
f(ii): Permitir adequada trocas de gases entre solo e atmosfera, garantindo adequada difusão e suprimento de oxigênio aos processos biológicos  
**(Fluxo de gases – aeração)**

f(iii): Proporcionar condições físicas adequadas para o crescimento de raízes  
**(Resistência mecânica não impeditiva)**

f(iv): Resistir a, e recuperar-se de, forças ou agentes internos ou externos que induzam degradação  
**(Resistência e resiliência à degradação)**

## Qualidade física do solo e o crescimento das plantas

Quais são os estresses físicos imposto pelo solo ao crescimento de plantas?



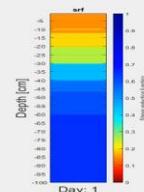
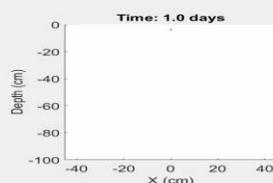
Moraes & Cherubin (2020)

## Efeito do impedimento (estresse) hídrico ao crescimento radicular de soja

Crescimento radicular da soja (BRS 282) em SPD função da ocorrência de déficit hídrico no período vegetativo em Londrina - PR. (Embrapa Soja/UFRGS)

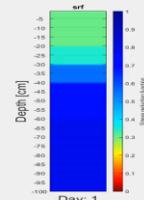
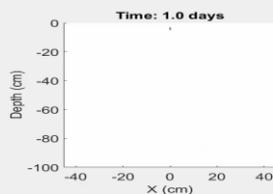
### Safra 2008/09

Seca no estágio vegetativo



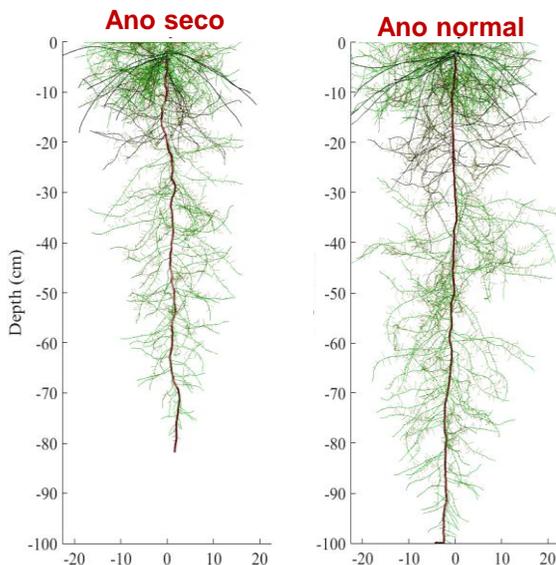
### Safra 2009/10

Disponibilidade hídrica adequada



Moraes et al. (2018)

## Qualidade estrutural x raízes



Crescimento radicular da soja  
(BRS 282) em SPD função  
da ocorrência de déficit  
hídrico no período vegetativo  
em Londrina - PR.  
(Embrapa Soja/UFRGS)

Moraes et al. (2018)

## Da teoria para a prática -

Consumo de  
água: **5 mm dia<sup>-1</sup>**



## Tópicos da aula

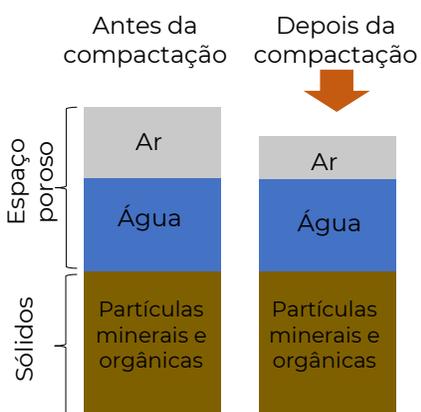
1. Qualidade física do solo e sua relação com o crescimento das plantas?

2. Monitoramento da qualidade física do solo

3. Práticas de manejo visando atenuar restrições físicas ao crescimento das plantas



## Compactação do solo



### Conceito:

- Compressão de um volume de solo não saturado, resultando na redução do volume do espaço poroso (particularmente os macroporos) e consequente aumento na densidade do solo
- Deformação do solo devido a aplicação de uma carga que supera a **capacidade de suporte de carga do solo**

## Causas da compactação do solo

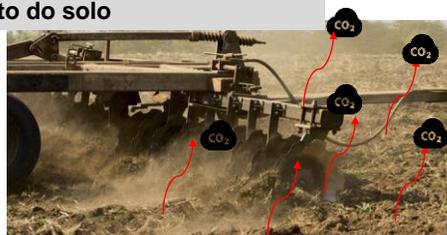
Tráfego intenso de máquinas cada vez maiores e mais pesadas



Tráfego de máquinas com umidade inadequada do solo (muito úmido)



Redução da matéria orgânica pelo revolvimento do solo



Sistemas com baixa diversificados de culturas

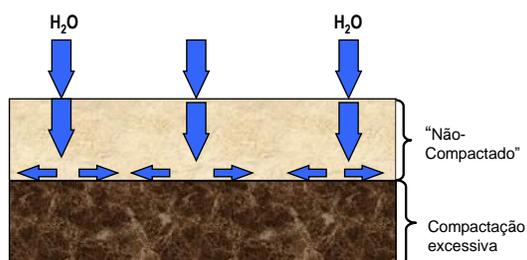


11

## Consequências da compactação do solo

**Solo**

- ✗ Redução da infiltração e redistribuição de água
- ✗ Redução das trocas gasosas (problemas de aeração)
- ✗ Aumento da resistência mecânica do solo
- ✗ Aumento do escoamento superficial (enxurrada) e erosão



12

## Consequências da compactação do solo

Solo

- ☐ Continuidade/uniformidade do fluxo descendente da água no solo



Elaborado por J. E. Denardin – Embrapa Trigo

13

## Consequências da compactação do solo

Solo

- ☐ Continuidade/uniformidade do fluxo ascendente de água no solo



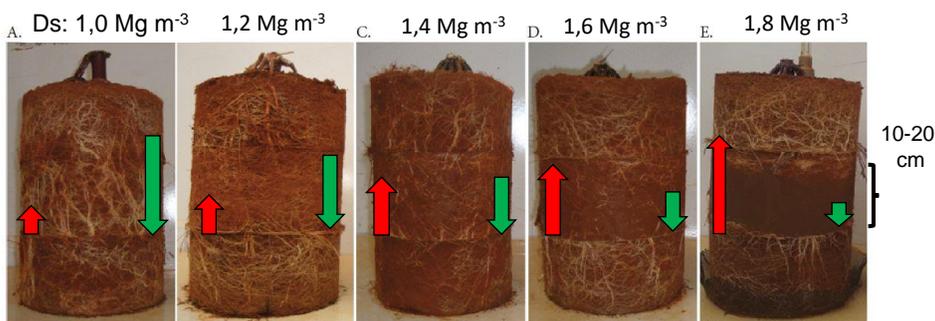
Elaborado por J. E. Denardin – Embrapa Trigo

14

# Consequências da compactação do solo

**Planta**

Distribuição das raízes de milho no perfil do solo  
 (Latosolo, textura média do Cerrado)

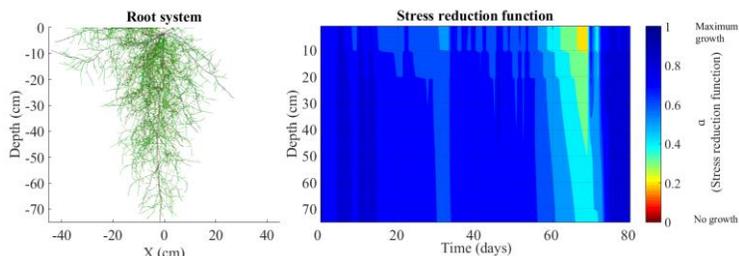


↑ Compactação do solo  
 ↓ Crescimento radicular do milho

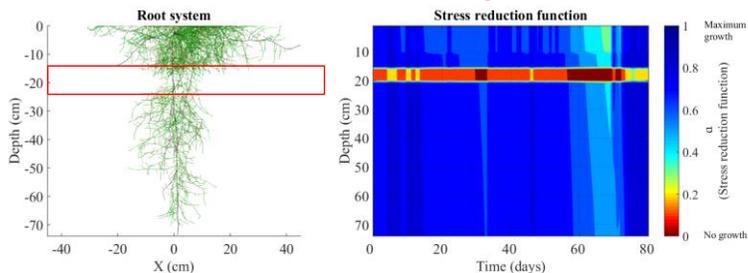
Nunes et al. (2016)

15

## Sem camada compactada



## Com camada compactada



**Planta**

Moraes et al. (2018)

16

## Desafios de avaliar a compactação no campo e recomendar a descompactação do solo

- Como fazer o diagnóstico da compactação do solo?
- Quais os limites críticos para recomendar a descompactação do solo?

**Pergunta:** Como você tem diagnosticado a compactação e qual os critérios para indicar a descompactação do solo?



Manejo do solo & crescimento radicular  
Prof. Dr. Maurício R. Cherubin



## Como diagnosticar e/ou monitorar a compactação do solo?

1º

### Avaliação da planta

- A planta é o principal sensor de compactação do solo

#### Parte aérea

- Crescimento vegetativo
- Tolerância a estiagem
- Produtividade

#### Sistema radicular

- Massa e volume
- Arquitetura
- Profundidade
- Alterações anatômicas

Redução do volume explorado pela raiz da soja



Foto: Enoir C. Pellizzaro



**Luis Eduardo Magalhães – BA  
Junho 2023**

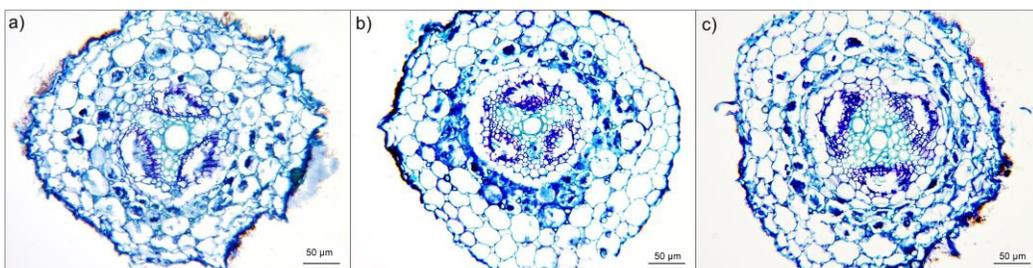


**Campo Novo do Parecis – MT  
Junho 2023**

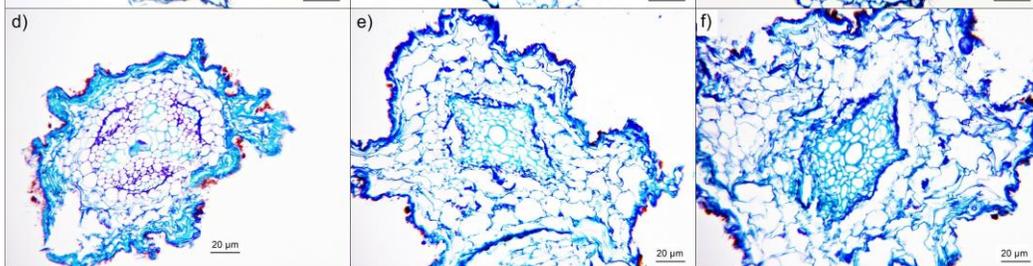
**Alterações na anatomia radicular de soja cultivado em sistema plantio direto**

Manejo do solo & crescimento radicular  
Prof. Dr. Maurício R. Cherubin  
ESALQ

**Sistema plantio direto**



**Sistema plantio direto com 8 passadas de colhedora**



## Como diagnosticar e/ou monitorar a compactação do solo?

### 2º Avaliação do solo

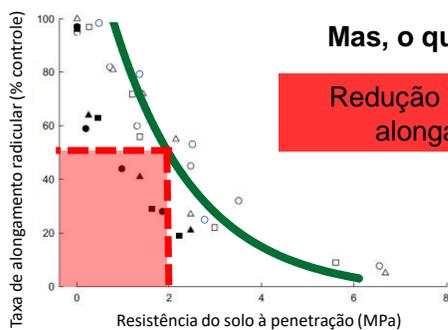
#### a) métodos indiretos / quantitativos

- Densidade do solo
- Resistência do solo à penetração
- Porosidade do solo
- Parâmetro hídricos (infiltração, condutividade hidráulica...)



## Resistência a penetração no monitoramento da compactação do solo

Valor "ideal" < 2 MPa  
(umidade de capacidade de campo)



Gregory (2006)

Mas, o que significa 2 MPa?

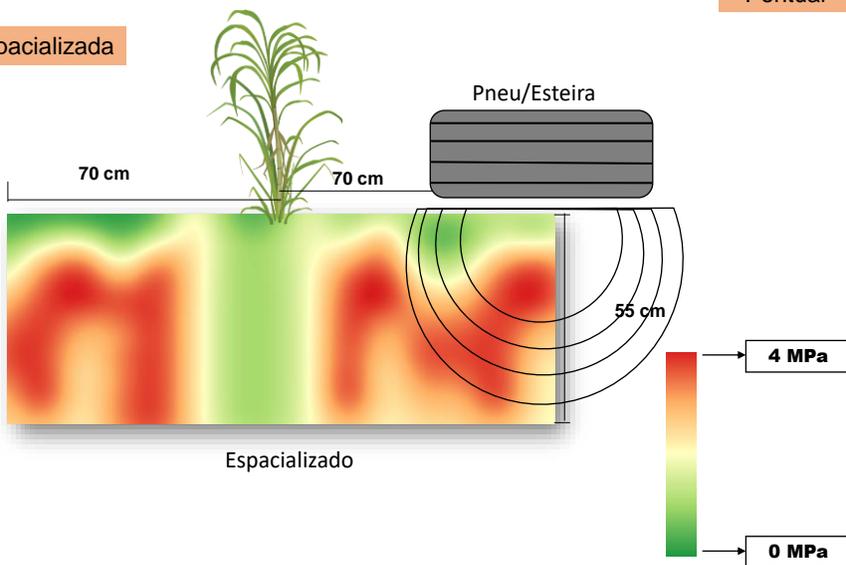
Redução de ~50% na taxa de alongamento radicular

Manejo do solo & crescimento radicular  
Prof. Dr. Maurício R. Cherubin

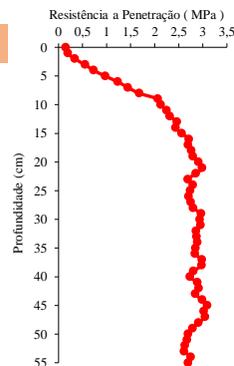


# Resistência a penetração do solo

Especializada

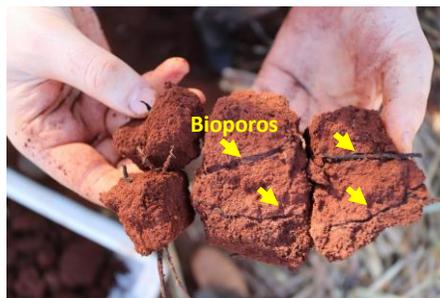
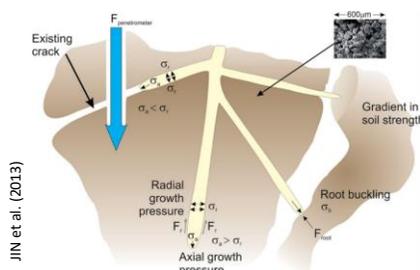


Pontual



## Cuidado com o uso da **resistência a penetração** no monitoramento da compactação do solo

- i) Cuidado com a umidade do solo (2 dias após a chuva)
- ii) No mínimo 3 medições por ponto (alta variação dos dados)
- iii) Cuidado com limites críticos (**solo tem estrutura - bioporos**)



## Como diagnosticar e/ou monitorar a compactação do solo?

### 2º Avaliação do solo

#### a) métodos indiretos / quantitativos

- densidade do solo
- resistência do solo à penetração
- porosidade do solo
- parâmetros hídricos (infiltração, condutividade hidráulica...)

#### b) métodos diretos / visuais / qualitativos ou semiquantitativos

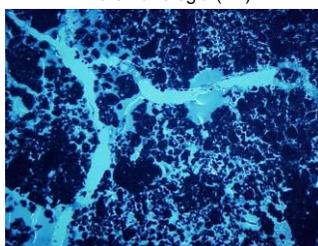
avaliação visual da estrutura do solo

análise por imagens/scanners (micromorfologia, microtomografia...)

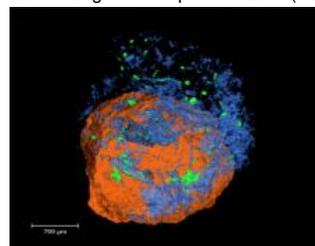
Avaliações visuais de campo



Micromorfologia (2D)



Microtomografia computadorizada (3D)



## Como diagnosticar e/ou monitorar a compactação do solo?

### • Avaliações visuais da estrutura do solo



**Perfil cultural** (Hénin et al., 1960; Tavares Filho et al., 1999).



**Visual Soil Assessment – VSA** (Sheperd, 2000; FAO, 2017)

**Visual Evaluation of Soil Structure – VESS** (Ball et al., 2007; Guimarães et al., 2011)

**Diagnóstico rápido da estrutura do solo – DRES** (Ralisch et al., 2017)

## Avaliação Visual da Estrutura do Solo

A estrutura do solo afeta a penetração das raízes, água disponível às plantas e aeração do solo. Este teste simples e rápido de avaliar a estrutura do solo baseia-se na aparência e tato de um bloco de solo retirado com uma pá. A escala do teste varia de Qe1, estrutura boa, a Qe5, estrutura pobre.



**Equipamentos:**  
Pá reta de aprox. 20 cm de larg., 22-25 cm de comp.  
Opcional: folha plástica de cor clara, saco ou bandeja 50 x 80 cm, faca pequena, câmera digital.

**Quando amostrar:**  
Qualquer época do ano, mas preferencialmente quando o solo estiver úmido. Se o solo estiver muito seco ou muito úmido será difícil de ser obtida uma amostra representativa. Raízes são melhores vistas em uma área com cultura estabelecida ou logo após a colheita.

**Onde amostrar:**  
Selecione uma área de cultura ou padrão de solo uniforme ou uma área onde há suspeita de restrições físicas. Dentro desta área, planeje uma malha de amostragem para avaliar o solo em 10 pontos, no mínimo. Em áreas experimentais pequenas pode ser necessário a redução deste número para 3 a 5.

Método de avaliação:		
Fasso	Opção	Procedimento
<b>Extração da fatia de solo</b>		
1. Extraia uma fatia de solo	Solo solto	Remova a fatia de solo de ~15 cm de espessura diretamente da profundidade total da pá e coloque a pá com o solo em uma folha, bandeja ou no chão.
	Solo firme	Cave um buraco de acesso um pouco mais largo e profundo que a pá deixando um lado do buraco intacto. No lado intacto, corte cada lado do bloco com a pá e remova o bloco como mostrado abaixo.
2. Examine a fatia de solo amostrado	Estrutura uniforme	Remova qualquer solo compactado ou resíduo ao redor do bloco.
	Duas ou mais camadas com estrutura diferente	Estime a profundidade de cada camada e prepare para atribuir uma nota de qualidade estrutural (Qe) para cada uma separadamente.
<b>Fragmentação da fatia de solo</b>		
3. Fragmenta a fatia (tire uma foto – opcional)		Meça o comprimento da fatia e procure camadas. Delicadamente manipule a fatia utilizando as duas mãos para revelar qualquer camada coesiva ou torrões de agregados. Se possível separe o solo em seus agregados naturais e torrões manipulados. Torrões são agregados grandes, duros, coesos e arredondados.
4. Reduza agregados maiores para confirmar a nota		Quebre os agregados e fragmentos até obter um agregado de 1,5 – 2,0 cm. Olhe sua forma, porosidade, raízes e facilidade de quebra. Torrões podem ser quebrados em agregados não porosos, angulosos e são indicativos de estrutura pobre e nota alta.
<b>Atribuição da nota</b>		
5. Atribua a nota		Compare o solo com as fotos, categoria por categoria, e determine o que mais se assemelha.
6. Confirme a nota com:	Extração da fatia	Fatores que aumentam a nota: Dificuldade em extrair a fatia de solo.
	Forma e tamanho dos agregados	Maiores, mais angulosos, menos poros, presença de orifícios (buracos) devido a presença de raízes ou minhocas.
	Raízes	Agrupamento, engrossamento e achatamento.
	Anaerobismo	Regiões ou camadas de solo cinza, que cheira enxofre e apresentam íons de ferro.
	Fragmentação de agregados	Reduza agregados para ~ 1,5 – 2,0 cm de diâmetro para revelar seu tipo.
7. Calcule a nota da fatia com duas ou mais camadas de estrutura diferente		Multiplique a nota de cada camada pela sua espessura e divida o produto pela profundidade total, e.g. para uma fatia de 25 cm com 10 cm de profundidade de solo solto (Qe1) sobre uma camada mais compacta (Qe3) de 10-25 cm de profundidade, a nota será [(1 x 10)/25] + [(3 x 15)/25] = Qe 2.2.

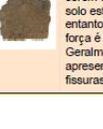
**Notas:** A nota pode ser atribuída entre categorias se a camada apresentar características das duas. Notas entre 1-3 são geralmente aceitáveis enquanto notas de 4 a 5 requerem mudanças no manejo do solo.



Bruce Ball, SAC (bruce.ball@sus.ac.uk), Rachel M. L. Guimarães, University of Maringá, Brazil (rachellooks@gmail.com), Tom Batey, Independent Consultant (2033@tombatey.co.uk) and Lars Munkholm, University of Aarhus, Denmark (Lars.Munkholm@agro.au.dk) – Tradução: Rachel M. L. Guimarães e Cassio A. Tomena, Universidade Estadual de Maringá, Brasil

# VESS

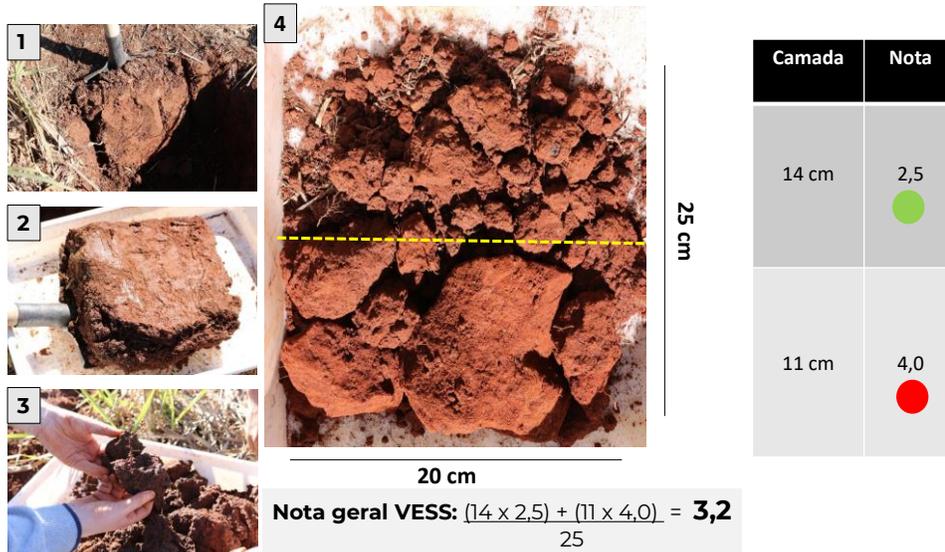
## Avaliação Visual da Estrutura do Solo

Qualidade Estrutural	Tamanho e aparência dos agregados	Porosidade visível e raízes	Aparência depois do manuseio: vários solos	Aparência depois do manuseio: mesmo solo diferentes manejos	Característica distintiva	Aparência e descrição de agregados naturais ou fragmento reduzido de ~ 1,5 cm de diâmetro
Qe1 Friável  Agregados quebram facilmente com os dedos	Maioria < 6 mm após a quebra	Alta porosidade  Raízes por todo solo			 Agregados pequenos	 A ação de quebrar o bloco é suficiente para revelá-los. Agregados grandes são compostos por agregados menores, presos pelas raízes.
Qe2 Intacto  Agregados quebram facilmente com uma mão	Uma mistura de agregados porosos e redondos entre 2 mm – 7 cm  Sem presença de torrões	Maioria dos agregados são porosos  Raízes por todo solo			 Agregados altamente porosos	 Agregados quando obtidos são redondos, muito frágeis, despedaçam muito facilmente e são altamente porosos.
Qe3 Firme  Maioria dos agregados quebram com uma mão	Uma mistura de agregados porosos entre 2mm -10 cm; menos de 30% são <1 cm. Alguns torrões angulares não porosos podem estar presentes	Macroporos e fissuras presentes  Porosidade e raízes: ambas dentro dos agregados			 Agregados com baixa porosidade	 Fragmentos de agregados são razoavelmente fáceis de serem obtidos. Apresentam poucos poros e são arredondados. Raízes geralmente crescem através dos agregados.
Qe4 Compacto  Quebrar agregados com uma mão requer esforço considerável	Maioria > 10 cm e são sub-angulares não porosos; possibilidade de horizontalização; menos que 30% são <7 cm	Poucos macroporos e fissuras  Raízes agrupadas em macroporos e ao redor dos agregados			 Macroporos bem distintos	 Fragmentos de agregados são fáceis de serem obtidos quando o solo está úmido, em forma de cubo muito angulosos e pontudos e apresentam fissuras internamente.
Qe5 Muito compacto  Difícil quebra	Maioria são maiores que > 10 cm, muito poucos < 7 cm, angular e não poroso	Porosidade muito baixa. Macroporos podem estar presentes. Pode conter zonas anaeróbicas Poucas raízes e restritas a fissuras			 Cor azul-aczentada	 Fragmentos de agregados são fáceis de serem obtidos quando o solo está úmido, no entanto, considerável força é necessária. Geralmente não apresentam poros ou fissuras.

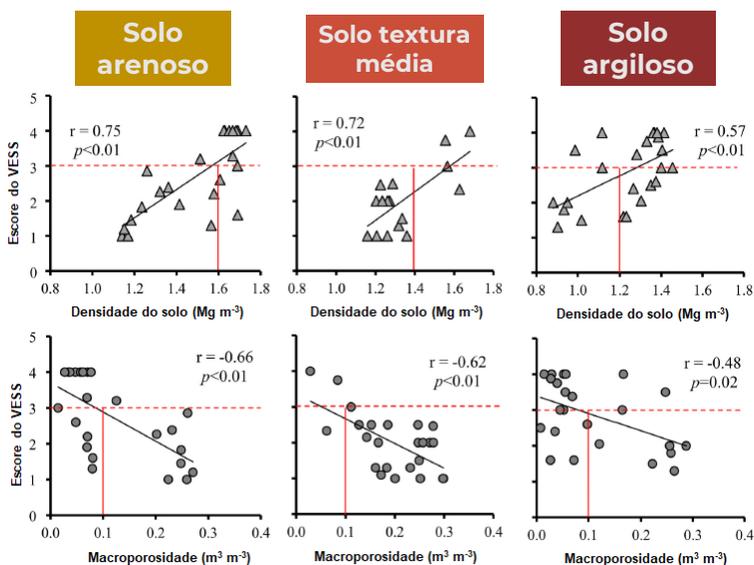
# VESS

## Avaliação Visual da Estrutura do Solo

## Avaliação Visual da Estrutura do Solo - VESS



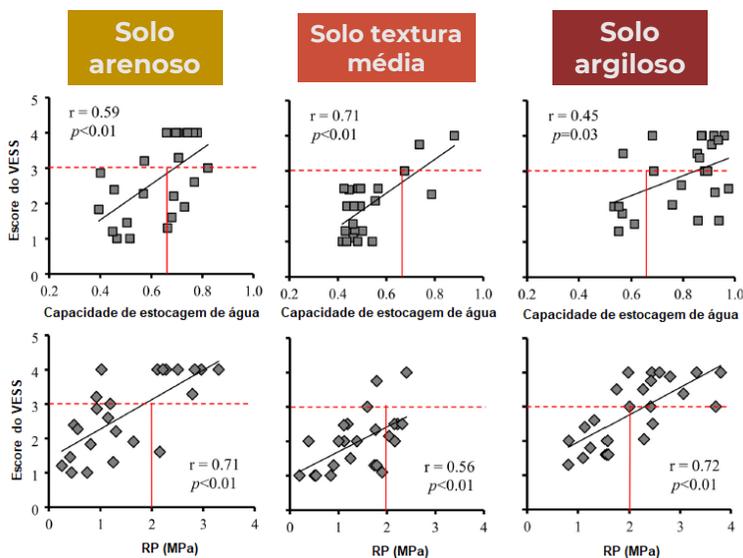
## Avaliação Visual da Estrutura do Solo - VESS



Cherubin et al. (2017)

Notas do **VESS** se correlacionam bem com indicadores tradicionais de compactação e aeração do solo

## Avaliação Visual da Estrutura do Solo - VESS



Cherubin et al. (2017)

Notas do VESS se correlacionam bem com indicadores tradicionais de armazenamento de água no solo e crescimento radicular

## Avaliação Visual da Estrutura do Solo - VESS

Aplicação do VESS para avaliar os impactos da remoção da cana-de-açúcar

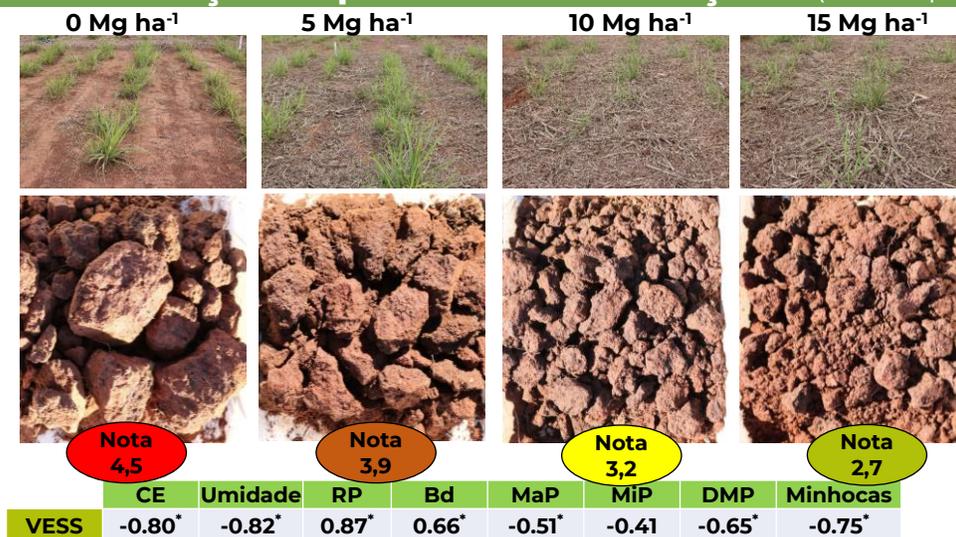


Soil physical quality response to sugarcane straw removal in Brazil: A multi-approach assessment

Guilherme Adalberto Castioni<sup>a</sup>, Maurício Roberto Cherubin<sup>b</sup>, Lauren Maine Santos Menandro<sup>a,c</sup>, Guilherme Martinelli Sanches<sup>a,c,e</sup>, Ricardo de Oliveira Bordonal<sup>a</sup>, Leandro Carneiro Barbosa<sup>a,d</sup>, Henrique Coutinho Junqueira Franco<sup>a</sup>, João Luís Nunes Carvalho<sup>b,e</sup>



## Efeito da remoção da palha de cana-de-açúcar (Iracemápolis, SP)



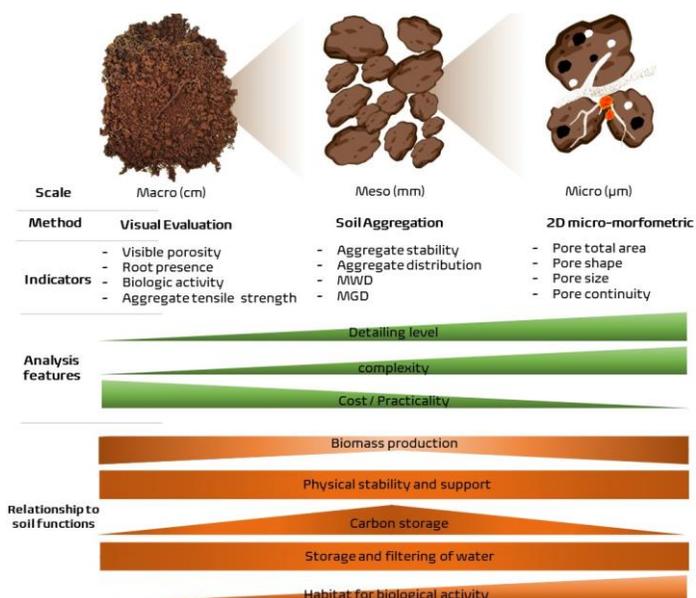
Castioni et al. (2018)

\* ( $p < 0.05$ )

### A seleção dos indicadores depende do:

- ✓ objetivo (função avaliada);
- ✓ nível de detalhamento desejado;
- ✓ capacidade de investimento;
- ✓ escala da avaliação

### Indicadores para avaliação da estrutura do solo



da Luz et al. (2022)



## Tópicos da aula

Manejo do solo & crescimento radicular  
Prof. Dr. Maurício R. Cherubin



1. Qualidade física do solo e sua relação com o crescimento das plantas?
2. Monitoramento da qualidade física do solo
3. Práticas de manejo visando atenuar restrições físicas ao crescimento das plantas



## Práticas de manejo para atenuar o processo de compactação do solo

Manejo do solo & crescimento radicular  
Prof. Dr. Maurício R. Cherubin



### Preventivas

Sistemas diversificados + Uso de plantas de cobertura (diferentes sistemas radiculares)

Manutenção da palhada na superfície do solo

Controle de tráfego de máquinas

Evitar tráfego de máquinas/pisoteio animal no solo com alto teor de água

Adequação da lotação animal em ILP

### Corretivas

Uso de sulcadores na semeadura de culturas anuais

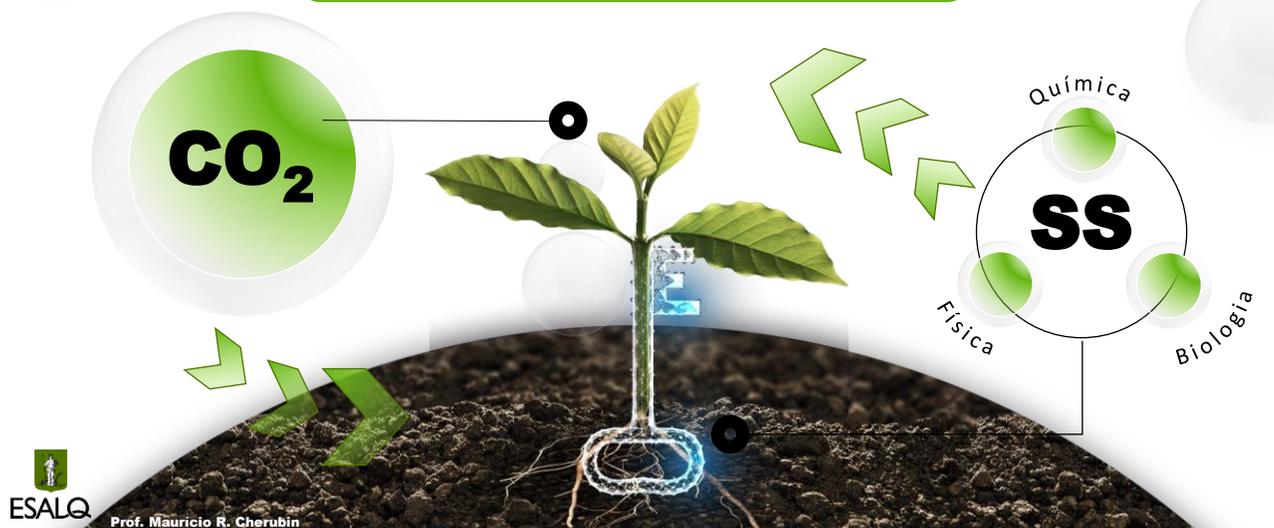
Escarificação periódica

Preparo convencional do solo

Práticas corretivas sempre devem estar associadas com as práticas preventivas

# A planta é **chave** do manejo saúde do solo

...INTENSIFICAÇÃO E DIVERSIFICAÇÃO



## 1 - Plantas de cobertura

### Características de uma boa planta (mix) de cobertura

- 1 – Crescimento rápido
- 2 – Alta produção de biomassa de parte aérea
- 3 – Sistema radicular vigoroso e profundo, e com características diferentes da sua cultura principal
- 4- Apresentar fácil estabelecimento e manejo
- 5- Adaptada para a época de semeadura escolhida
- 6- Não ser hospedeira de doenças, pragas e nematoides
- 7- Se possível, produzir grão de interesse comercial ou servir para pastejo (ter boa palatabilidade)



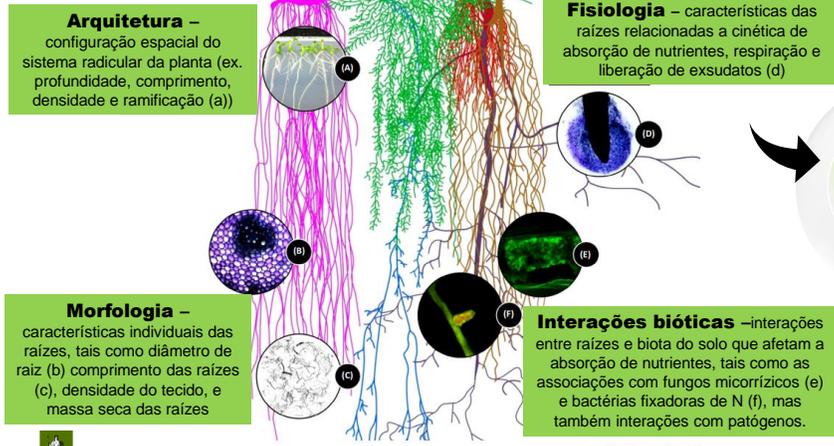
# Biodiversificação do sistema de produção

Manejo do solo & crescimento radicular  
Prof. Dr. Maurício R. Cherubin



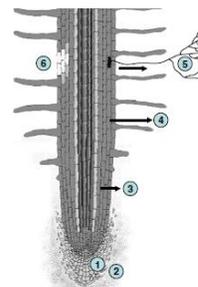
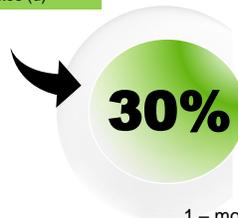
## Sistema radicular é chave para melhorar a saúde do solo

Deposições de C na rizosfera



Dardgett et al. (2014)

TRENDS in Ecology & Evolution



- 1 – morte de células da coifa e extremidade da raiz;
- 2 – secreção de exsudatos insolúveis
- 3 – secreção de exsudatos solúveis
- 4 – secreção de C orgânico voláteis
- 5 – transferência de C para simbiontes
- 6 – morte das células da epiderme e córtex radicular

Jones et al. (2009)



Prof. Maurício R. Cherubin

## As plantas de cobertura trazem múltiplos benefícios para a saúde do solo, que se refletem em melhoria da produtividade do sistema de produção

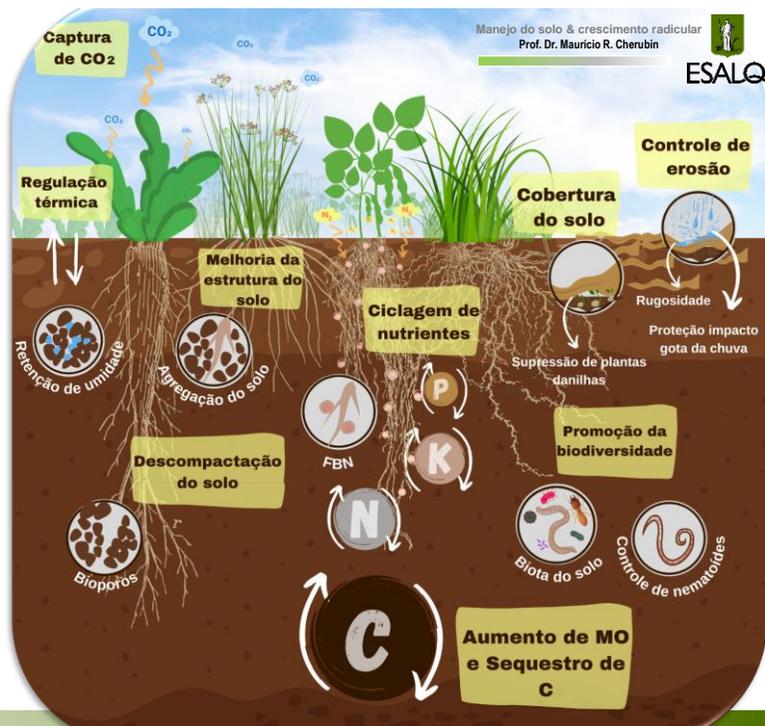
Manejo do solo & crescimento radicular  
Prof. Dr. Maurício R. Cherubin



ESALQ USP  
Guia Prático de Plantas de Cobertura  
Aspectos fitoquímicos e impactos sobre a saúde do solo



Prof. Maurício R. Cherubin



## Plantas e atividade biológica ajudam na agregação do solo, tornando a estrutura mais estável e funcional

### Agregados biogênicos



- Menor perda de solo por erosão
- Menor perda de C e nutrientes
- Maior retenção de água



ESALQ

Prof. Maurício R. Cherubin



Beatriz Vanoli

### Agregados fisicogênicos



- Menor estabilidade;
- Maior suscetibilidade à erosão
- Menor capacidade de suporte de carga

Manejo do solo & crescimento radicular  
Prof. Dr. Maurício R. Cherubin



ESALQ

### Oeste da Bahia (região do Rosário) Junho de 2023

Girassol + mix de plantas de cobertura (crotalária ochroleuca, crambe, capim coracana, trigo mourisco, nabo forrageiro e milho)



Nematicida microbiológico (*Bacillus subtilis* (2 cepas), *Bacillus megaterium*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Paenibacillus polymyxa* e *Bacillus licheniformis*) – promoção de crescimento radicular, supressão de fitonematoides juvenis e indutor de resistência em plantas.

Fungicida microbiológico (*Trichoderma harzianum*, *Trichoderma asperellum*, *Bacillus subtilis*, e *Bacillus amyloliquefaciens*) – controle de doenças radiculares e mofo branco



ESALQ

Prof. Maurício R. Cherubin



**Oeste da Bahia  
(região do Rosário)  
Junho de 2023**

Girassol + mix de plantas de cobertura (crotalária ochroleuca, crambe, capim coracana, trigo mourisco, nabo forrageiro e milho)



Nematicida microbiológico (*Bacillus subtilis* (2 cepas), *Bacillus megaterium*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Paenibacillus polymyxa* e *Bacillus licheniformis*) – promoção de crescimento radicular, supressão de fitonematóides juvenis e indutor de resistência em plantas.

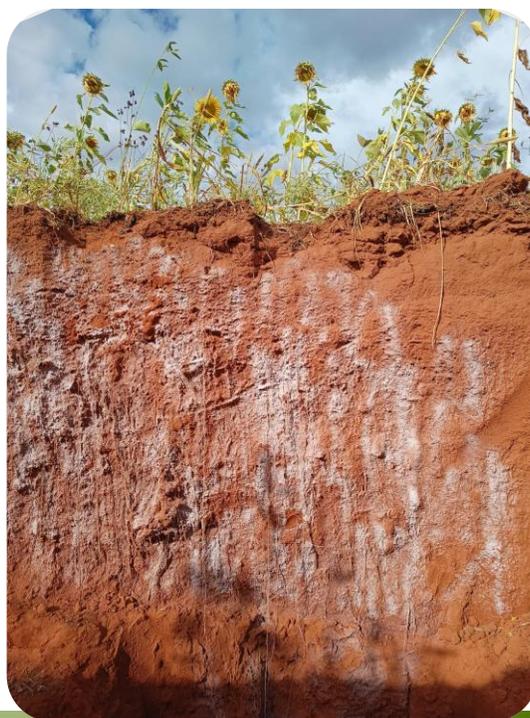
Fungicida microbiológico (*Trichoderma harzianum*, *Trichoderma asperellum*, *Bacillus subtilis*, e *Bacillus amyloliquefaciens*) – controle de doenças radiculares e mofo branco



ESALQ

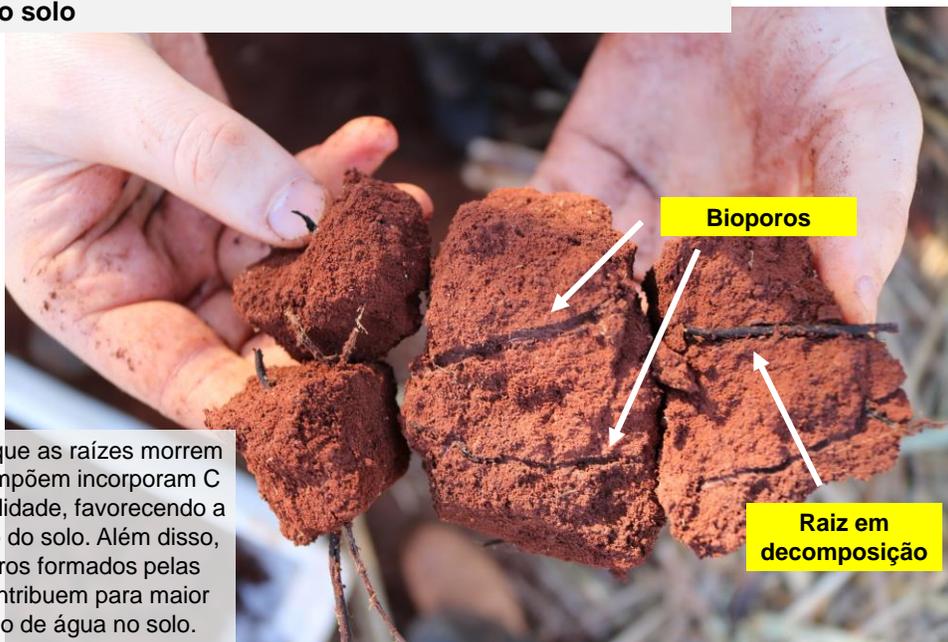
Prof. Maurício R. Cherubin

**Raízes  
chegando a 3  
metros de  
profundidade!!!!**



**Sistema radicular das plantas incorpora C e favorece a infiltração de água do solo**

Manejo do solo & crescimento radicular  
Prof. Dr. Maurício R. Cherubin



A medida que as raízes morrem e se decompõem incorporam C em profundidade, favorecendo a agregação do solo. Além disso, os bioporos formados pelas raízes contribuem para maior infiltração de água no solo.

## 2) Manutenção da palhada

### Efeito direto - mecânico

- Dissipa parte da energia de compactação aplicada sobre o solo ("efeito amortecedor");
- Regulação térmica, minimizando a perda de água por evaporação e assim o aumento da resistência do solo à penetração;



### Efeito indireto - biológico

- Com a decomposição, adiciona C ao solo, ajudando na **agregação do solo**;
- Favorece a atividade biológica do solo que atua na agregação do solo e constroem bioporos



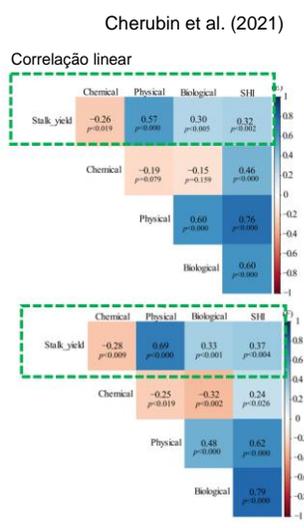
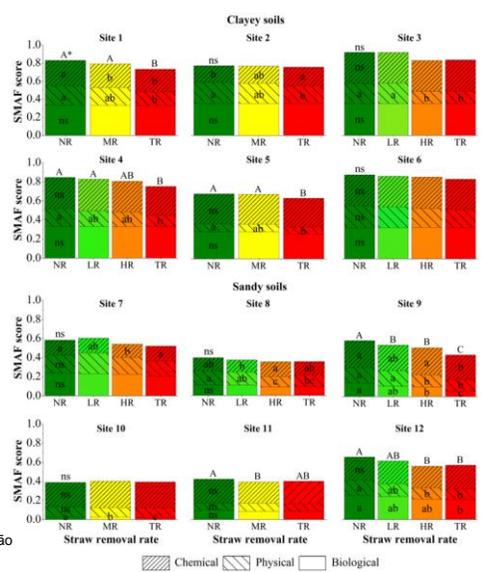
## A manutenção da qualidade do solo pelo efeito da palhada



Soil health response to sugarcane straw removal in Brazil  
 Maurício R. Cherubin<sup>1\*</sup>, Ricardo O. Borborel<sup>1</sup>, Guilherme A. Cantini<sup>1</sup>,  
 Patrícia M. Guimarães<sup>1</sup>, Izabela P. Lisboa<sup>1</sup>, Lucas A.A. Moraes<sup>1</sup>, Lauren M.S. Moura<sup>1,2</sup>,  
 Sarah Tenelli<sup>1,3</sup>, Carlos E.P. Cerri<sup>4</sup>, Douglas L. Karlen<sup>5,6</sup>, João L.N. Carvalho<sup>1,7</sup>

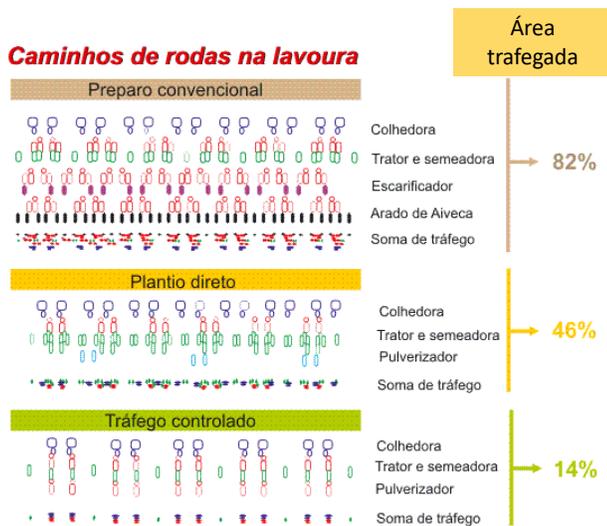


**Tratamentos**  
 NR – sem remoção  
 LR – baixa remoção  
 MR – moderada remoção  
 HR – alta remoção  
 TR – total remoção



**Remoção excessiva de palha reduz a qualidade do solo (especialmente física e biológica), e isso reflete em perdas de produtividade!**

### 3) Controle de tráfego



Rev. SPD (2009)

**Tabela 1: Produtividade das culturas sob diferente intensidade de tráfego de máquinas. Não-Me-Toque/RS, 2012**

Tratamentos	Produtividade	
	Milho kg/ha	Soja
ST	13.010 a	4.242 a
TP	11.784 a	2.783 b
TT	12.418 a	4.802 a
TM	9.890 b	2.370 b

Siglas: ST = Sem tráfego; TP = Tráfego pulverizador; TT = Tráfego trator; TM = Tráfego máximo.  
Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey. Teste F significativo (p < 0,05).

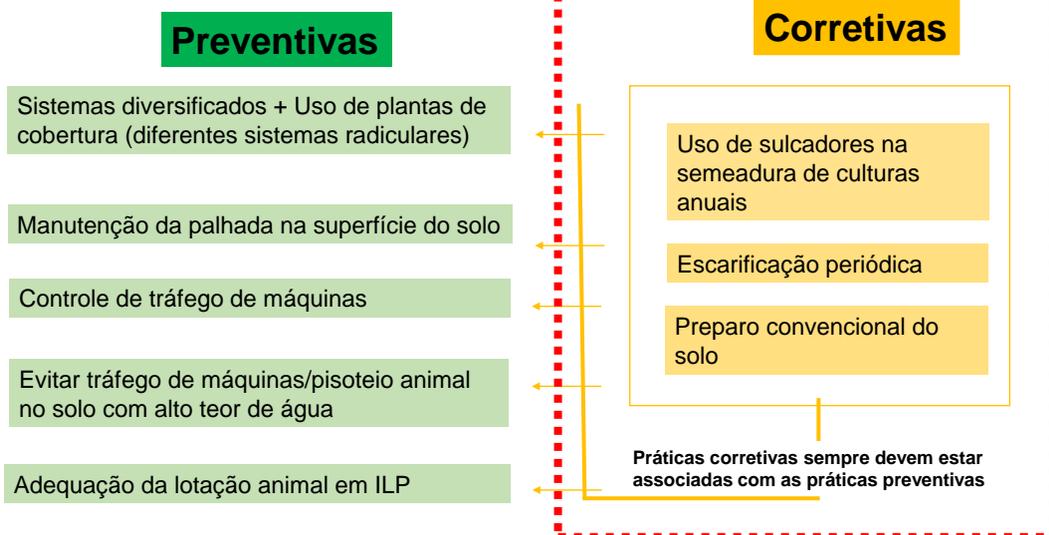
**Tabela 2: Produtividade da soja sob diferente intensidade de tráfego de máquinas. Céu Azul/PR, 2014**

Tratamento	Produtividade de soja kg/ha
Sem Tráfego.....	4.103
Tráfego do Trator.....	3.843
Tráfego do Trator + Pulverizador.....	3.790

49

Girardello et al. (2014)

### Práticas de manejo para atenuar o processo de compactação do solo



51

## Manejo Mecânico - Corretivo

### 1) Sulcadores tipo sulcado na semeadura

- Rompe a camada compactada no sulco de semeadura
- Revolvimento mínimo do solo



Nunes et al. (2015)



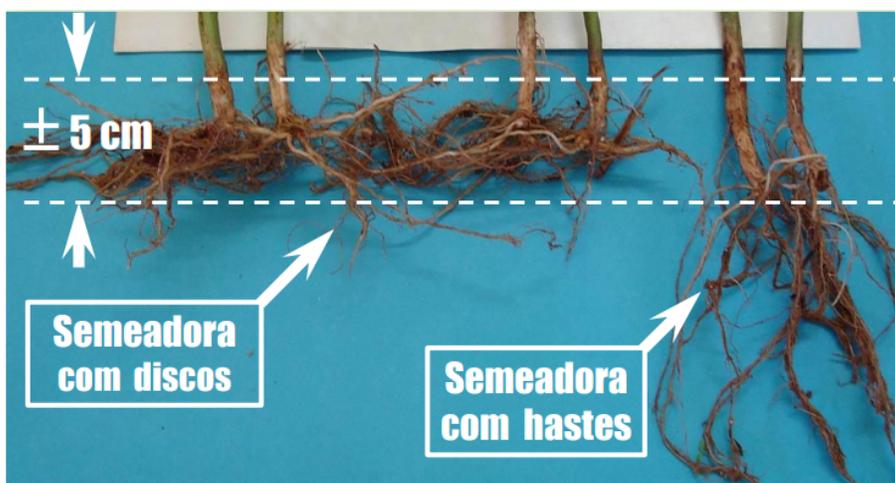
Disco Duplo e Haste Sulcadora - (Julio Pereira, UNESP)

52

## Manejo Mecânico - Corretivo

### 1) Sulcadores tipo sulcado na semeadura

Rompe a camada compactada e permite maior crescimento radicular



Denardin (2016)

53

## Manejo Mecânico - Corretivo

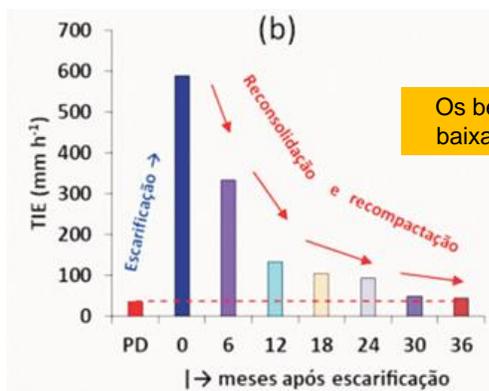
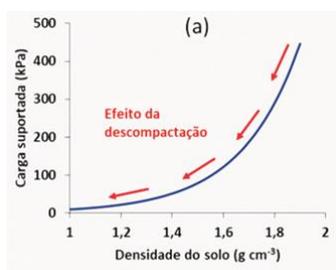
### 2) Escarificação do solo

Rompimento da camada compactada do solo, sem inversão de camadas do solo



## Manejo Mecânico - Corretivo

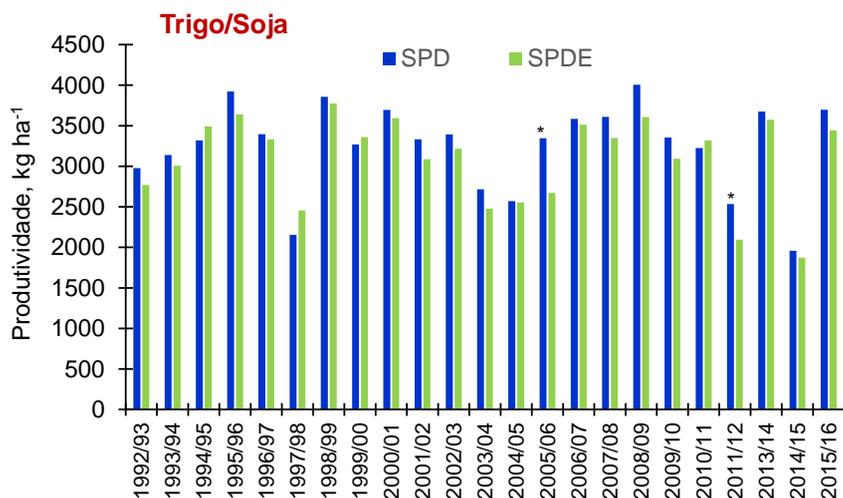
### Escarificação



Carga suportada por um Argissolo com grau de saturação por água entre 31 a 45%, em diferentes densidades (a), e taxa de infiltração estável de água (TIE) em Latossolo medida em diferentes momentos após a escarificação (b)

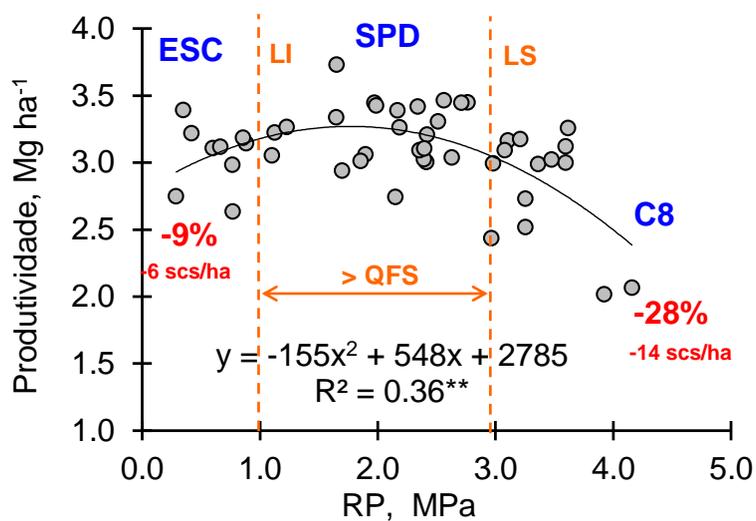
Gubiani e Reinert (2019)

Produtividade da soja em sistemas manejo do solo em 23 safras (1993-2016).  
Embrapa Soja, Londrina/PR, 2016.



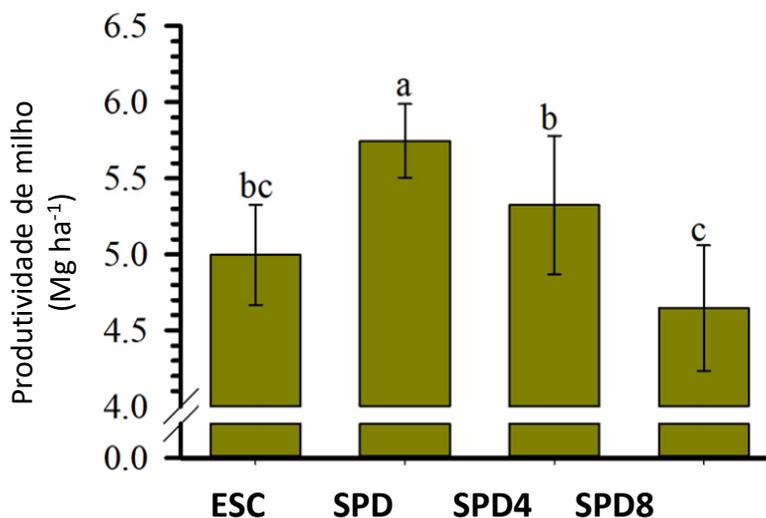
Debiasi et al. (2017)

Produtividade da soja (BRS 359RR) em função do estado de compactação do solo, safra 2013/14. Embrapa Soja, 2014.



Debiasi et al. (2015)

Produtividade do milho 2ª safra (AG 9010) em função do estado de compactação do solo, safra 2014



Moraes et al. (2019)

58

Science of the Total Environment 745 (2020) 140887



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)Manejo do solo & crescimento radicular  
Prof. Dr. Maurício R. Cherubin

## Occasional tillage in no-tillage systems: A global meta-analysis

Devison Souza Peixoto<sup>a</sup>, Lucas de Castro Moreira da Silva<sup>a</sup>, Laura Beatriz Batista de Melo<sup>a</sup>, Raphael Passaglia Azevedo<sup>a</sup>, Bruno Cassiano Lemos Araújo<sup>a</sup>, Teotônio Soares de Carvalho<sup>a</sup>, Silvano Guimarães Moreira<sup>b</sup>, Nilton Curi<sup>a</sup>, Bruno Montoani Silva<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Soil Science, Federal University of Lavras, Av. Doutor Sylvio Menicucci 1001, CEP 37200-000 Lavras, Minas Gerais, Brazil<sup>b</sup> Department of Agriculture, Federal University of Lavras, Av. Doutor Sylvio Menicucci 1001, CEP 37200-000 Lavras, Minas Gerais, Brazil<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140887>

Soil &amp; Tillage Research 198 (2020) 104534



Contents lists available at ScienceDirect

Soil &amp; Tillage Research

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/still](http://www.elsevier.com/locate/still)

Review

## Does occasional tillage undo the ecosystem services gained with no-till? A review

Humberto Blanco-Canqui<sup>a</sup>, Charles S. Wortmann<sup>a</sup> Department of Agronomy and Horticulture, University of Nebraska, Lincoln, NE 68583, USA<https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104534>

59

**Para um estudo detalhado dos efeitos do preparo ocasional (periódico) nas propriedades do solo e produtividade das plantas, leia esses dois artigos publicados recentemente.**

## Plantas de cobertura vs Escarificação mecânica periódica

**Table 8**

Soybean grain yield means and annual relative grain yields determined over 12-years experimental period as affected by cover crops grown in spring, Botucatu, Brazil.

Year <sup>a</sup>	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	Mean <sup>b,c</sup>
	Relative yield (%) <sup>b</sup>										kg ha <sup>-1</sup>
<b>Cover crop</b>											
Pearl millet	90 ab	102 ab	99 a	111 a	102 a	104 ab	90 bc	91 b	86 b	132 a	<b>2869 b</b>
Sorghum	78 b	91 b	100 a	109 ab	97 a	106 ab	88 c	99 a	97 ab	123 b	<b>2805 b</b>
Sunn hemp	89 ab	112 a	105 a	110 a	99 a	111 a	98 ab	101 a	106 a	127 ab	<b>3000 a</b>
Chiseling	100 a	100 b	100 a	100 b	100 a	100 b	100 a	100 a	100 a	100 c	<b>2817 b</b>
Yield (100%) kg ha <sup>-1</sup>	2275	2900	3787	3294	3963	3008	3039	3203	1870	3202	

<sup>a</sup> Soybean yield was not measured in 2007/08 and 2008/09 years.

<sup>b</sup> Data followed by different letters differ from each other by the paired *t*-test (LSD, *P* < 0.05).

<sup>c</sup> The mean soybean yields (kg ha<sup>-1</sup>) were compared by using the mean yield from the 10 harvests of each replicate.

Soil was chiseled in 2003, 2009 and 2013

### 5. Conclusions

Chiseling results in better immediate results on soil structure and soybean yields, but such benefits do not last up to the second year, while the beneficial effect of cover crops are observed in the medium and long term, leading to soybean yields equal or higher than occasional chiseling. Besides, in the long-term, the use of cover crops improves soil structure in deeper layers as compared with chiseling.

Sunn hemp is an interesting species to be included in rotation due to its capacity to increase soil macroporosity in clay soils with poor aeration.

Calonego et al. (2017)

60

## Manejo Mecânico - Corretivo

### 3) Preparo convencional



Mais DRÁSTICO!  
última alternativa, antes de  
recomeçar o sistema de  
plantio direto

- É uma estratégia **eficiente** para descompactar o solo, portanto deve ser utilizado em situações críticas;
- Mas tem uma série de **inconvenientes**: custo, perda de MOS e biota do solo, risco de erosão, e aumenta riscos de nova compactação.
- Quando usar preparo convencional, deve **repensar o sistema de cultivo!**

61

## Efeito do preparo do solo e tráfego de máquinas

### Estudo de caso -

Solo argiloso (55% argila) – Quirinópolis-GO

### Canavial para reforma – solo compactado

	PCT	PDT	PDN
	Com preparo Com tráfego	Sem preparo Com tráfego	Sem preparo Sem tráfego

Tratamento	Ano												
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Preparo do solo</b>													
PCT	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
PDT	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
PDN	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
<b>Tráfego de máquinas</b>													
PCT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PDT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PDN	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗

Nas áreas de Plantio Direto, o último preparo do solo ocorreu em **2006**

## Efeito do preparo do solo e tráfego de máquinas



### Plantio direto



- Colheita 5° soqueira - reforma
- Dessecação da soqueira
- Cultivo de *Crotalaria spectabilis*
- Sulcação e plantio da cana-de-açúcar

Foto: CTBE-CNPEM

## Impactos na estrutura do solo

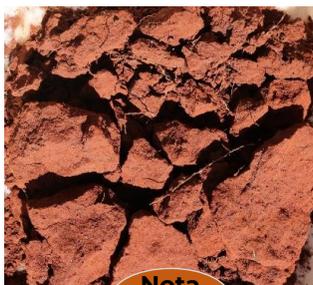
### VESS – Avaliação Visual da Estrutura do solo (macro escala)

Preparo Convencional  
Tráfego de máquinas



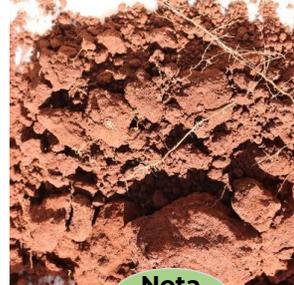
Nota  
3,0

Plantio Direto  
Tráfego de máquinas



Nota  
3,6

Plantio Direto  
Zonas livre de tráfego



Nota  
2,6

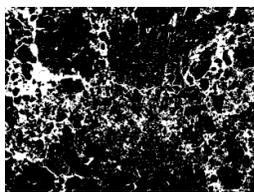
- ✓ Agregados menores, arredondados e porosos
- ✓ Maior porosidade visível
- ✓ Maior atividade biológica
- ✓ Presença e maior distribuição de raízes

Luz et al. (2022)

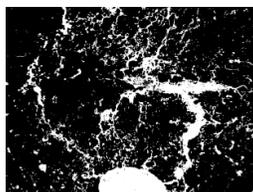
## Impactos na estrutura do solo

### Análise micromorfométrica (micro escala)

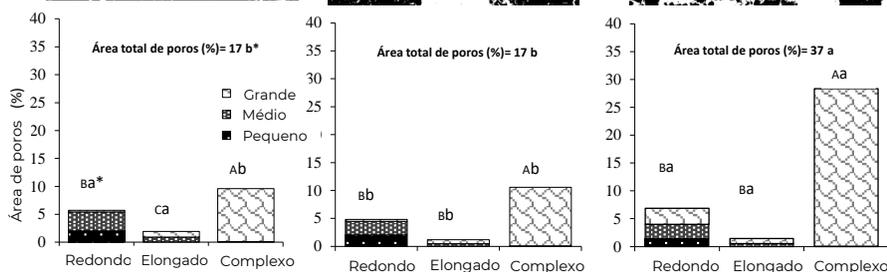
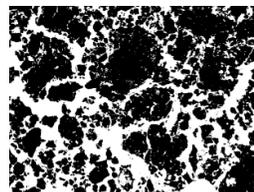
Preparo Convencional  
Tráfego de máquinas



Plantio Direto  
Tráfego de máquinas



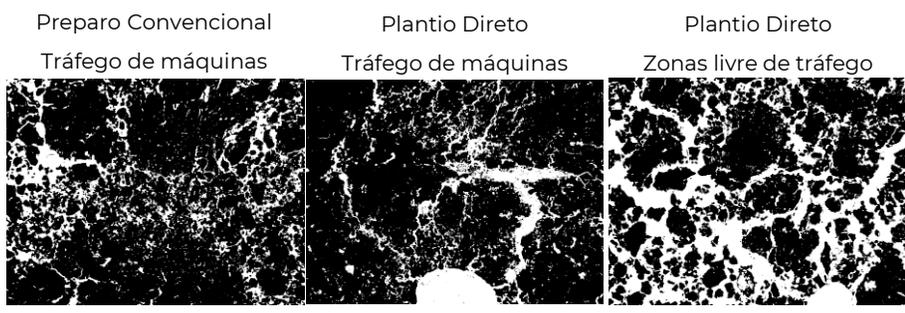
Plantio Direto  
Zonas livre de tráfego



A adoção do plantio direto com zonas livre de tráfego apresentou **maior área de poros** e maior presença de poros complexos

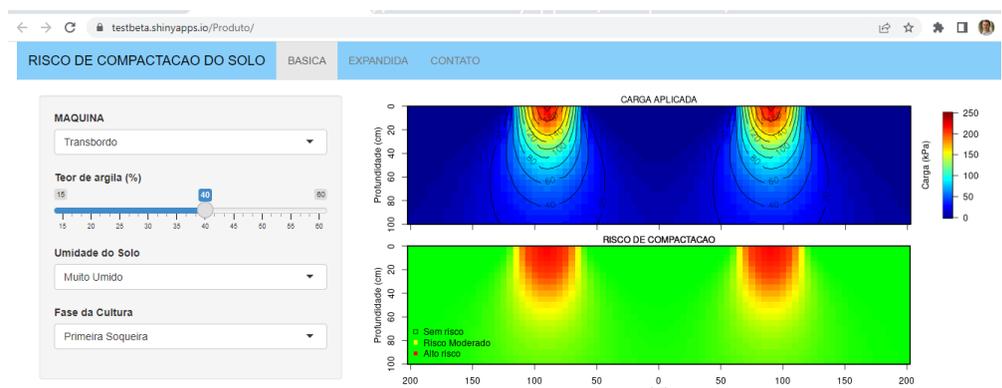
Luz et al. (2022)

**Recuperação da qualidade física do solo pelo efeito da planta, ação da biota do solo, e ausência de perturbação mecânica**



**Ferramenta prática:**

**Sistema de gestão de risco de compactação do solo induzido pelo tráfego de máquinas (COMPSOHMA)**



<https://testbeta.shinyapps.io/compsohma/>

## Resumo da aula

### 1. Qualidade física do solo e sua relação com o crescimento das plantas?

Capacidade do solo executar suas funções físicas (regulação do fluxos hídricos, aeração, condições para crescimento e sustentação radicular e resistir a degradação)

### 2. Monitoramento da qualidade física do solo

As principais estratégias envolvem – diagnóstico das plantas e avaliações do solo, tanto de campo quanto de laboratório. Avaliação visual da estrutura do solo pode ser uma estratégia simples e barata para fazer esse monitoramento no campo.

### 3. Práticas de manejo visando atenuar restrições físicas ao crescimento das plantas

As principais estratégias envolvem práticas preventivas (plantas de cobertura, controle de tráfego..) SEMPRE e práticas corretivas (intervenções mecânicas como escarificação periódica, e preparo convencional) QUANDO NECESSÁRIO.



Manejo do solo & crescimento radicular  
Prof. Dr. Maurício R. Cherubin



@sohma.esalq



Maurício Roberto Cherubin



## Muito Obrigado!

Prof. Dr. Maurício R. Cherubin  
[cherubin@usp.br](mailto:cherubin@usp.br)