

Métodos de Diagnose de Fósforo no Solo em Uso no Brasil

Apresentado por

Bernardo van Raij

Instituto Agronômico de Campinas

No **Simpósio sobre Fósforo na
Agricultura Brasileira – POTAFOS**

Piracicaba, SP – 15 de maio de 2003

Significado pratico da análise de solo

Atividade central do processo de correção do solo e adubação.

Instrumento de convergência da pesquisa e de suporte para ações práticas.

Eficácia depende do embasamento científico.

A prática da análise de solo

É a análise química mais utilizada na agricultura.

Sucesso variável em diferentes países e regiões.

É importante a quantidade e qualidade da pesquisa sobre métodos e sua calibração.

A análise de fósforo em solos

O fósforo é o nutriente que tem recebido maior atenção no mundo, inclusive no Brasil.

No Brasil, dois métodos são usados:

- ❖ Mehlich 1
- ❖ Resina trocadora de íons

A base dos extratores é a ação química para liberar o fósforo

- ❖ Ação solvente de ácidos, com pH de 2 a 3 – Mehlich 1
- ❖ Substituição de ânions através de troca de ligantes – sulfato, citrato, lactato e acetato – Morgan, Egner
- ❖ Complexação de cátions - fluoreto – Bray 1
- ❖ Hidrólise de cátions combinados com P - Olsen

No Brasil

- ❖ **IAC** – 0,025 mol L⁻¹ de H₂SO₄ – usado de 1954 a 1982. Resultados iguais a Mehlich 1.
- ❖ **Mehlich 1** - 0.0125 mol L⁻¹ de H₂SO₄ e 0,050 mol L⁻¹ de HCl – Carolina do Norte. Em uso no Brasil desde 1965.
- ❖ **Resina trocadora de íons** – Desde 1983

O que os métodos de análise de fósforo em solos deveriam avaliar?



❖ $\text{P}_{\text{solução}}$ – números muito baixos;

❖ Não deveriam avaliar $\text{P}_{\text{não-lável}}$ e $\text{P}_{\text{fertilizante}}$

❖ Ideal: Avaliar $\text{P}_{\text{lável}}$, que repõe $\text{P}_{\text{solução}}$

Detalhes analíticos do método Mehlich 1

10 cm³ de solo + 100 ml de solução
extratora

Agitar 5 minutos. Separar por filtragem
ou decantação. Determinar P.

O pH de extração é baixo, de 2 a 3.

Características do método Mehlich 1

Método muito simples.

O extrator é fortemente ácido, extraíndo de preferência P-Ca ou fósforo de adubos recém-aplicados. Não parece seletivo para $P_{\text{lábil}}$.

Dissolve pouco P de alguns solos argilosos.

Dissolve muito P em solos com resíduos de fosfatos naturais.

A extração com resina trocadora de íons

2,5 cm³ de solo

2,5 cm³ de mistura de resina trocadora de cátions e resina trocadora de ânions saturada com bicarbonato de sódio.

25 mL de água destilada.

Agitar 16 horas.

No dia seguinte, separar resina do solo, extrair o P' da resina e determinar.

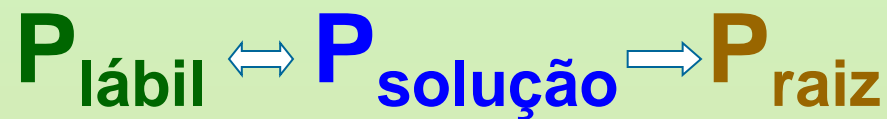
O pH de extração está entre 6 e 7.

Vejam as seguintes equações

1. Origem do $P_{\text{solução}}$



2. Como o fósforo entra na raiz (difusão)



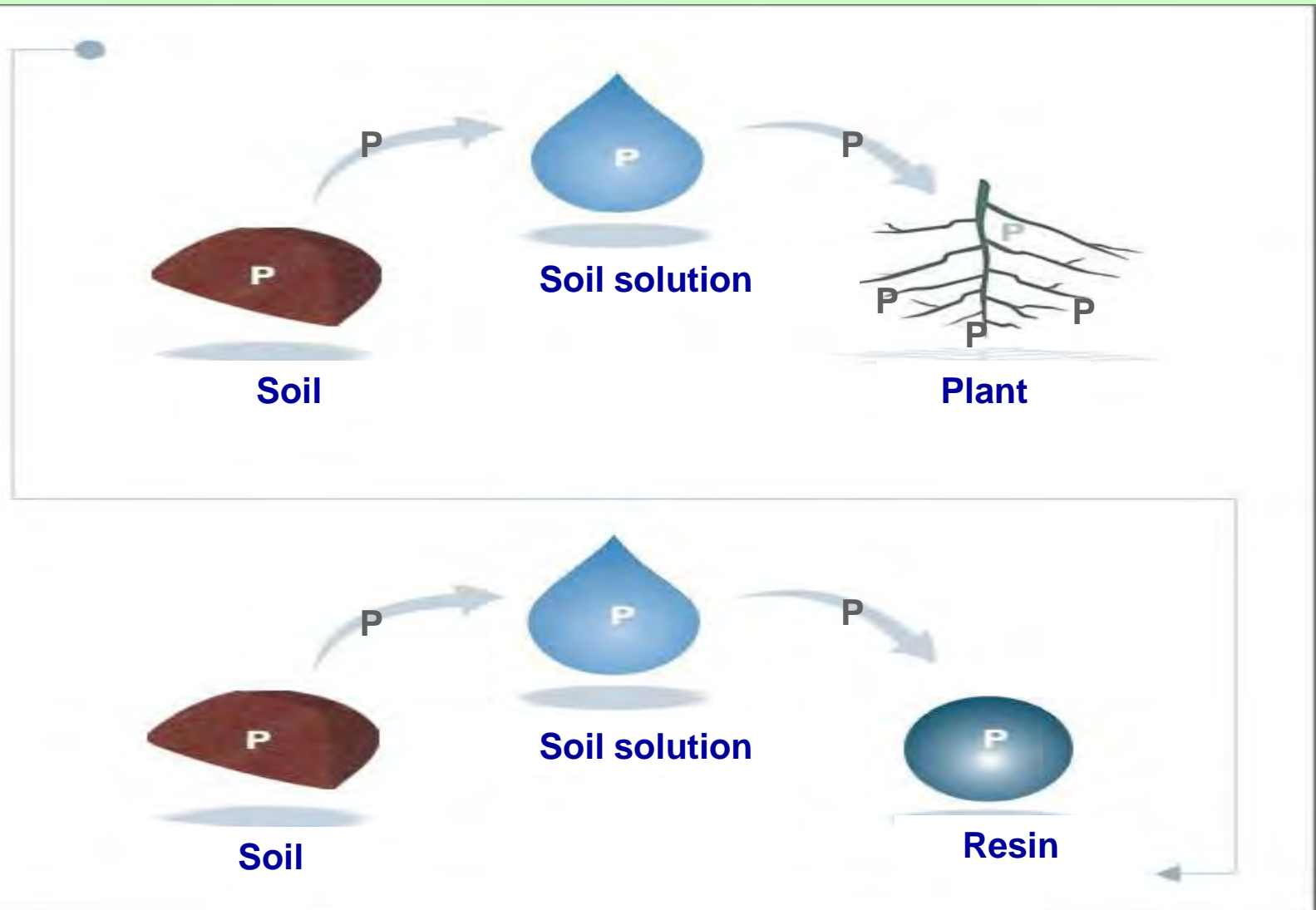
3. Como o fósforo passa para a resina



O que é a resina de troca de ânions

- ▶ Trata-se de um material sintético, como estrutura tridimensional de cadeias orgânicas, contendo grupamentos funcionais com cargas positivas, que adsorvem os ânions H_2PO_4^- .

Uma outra representação da extração de P pela resina de troca de íons



Temos, assim, dois métodos de extração de P, profundamente diferentes

1. A teoria favorece a extração com resina e não dá suporte ao método Mehlich 1
2. Isso será demonstrado de diversas maneiras.

Seleção de métodos por experimentos em vasos

Uma das técnicas mais usadas.

Amostras de solos representativas.

Cultivo de planta-teste, com solo corrigido e fornecimento de nutrientes, exceto P.

Correlação: P planta x P solo, para os diversos métodos

Indicador: , r , r^2 ou **100 r^2**

Seleção de métodos por experimentos de campo

Diversos experimentos dos quais se obtém:

1. Amostra composta da área para análise

Produção sem P

2. Produção relativa = $\frac{\text{Produção sem P}}{\text{Produção com P}}$ x 100

Produção com P

Ajuste da equação $Y = a_0 + a_1/X$ e
determinação do coeficiente de correlação r

Criação de teores em alguns solos

- Adiciona-se várias doses de P a solos.
 - Estabelece-se nível crítico como o ponto de 90% de produção máxima.
- É procedimento utilizado par adubação corretiva e várias correlações podem ser calculadas para comparar métodos.
 - Falta de equilíbrio é um sério problema.

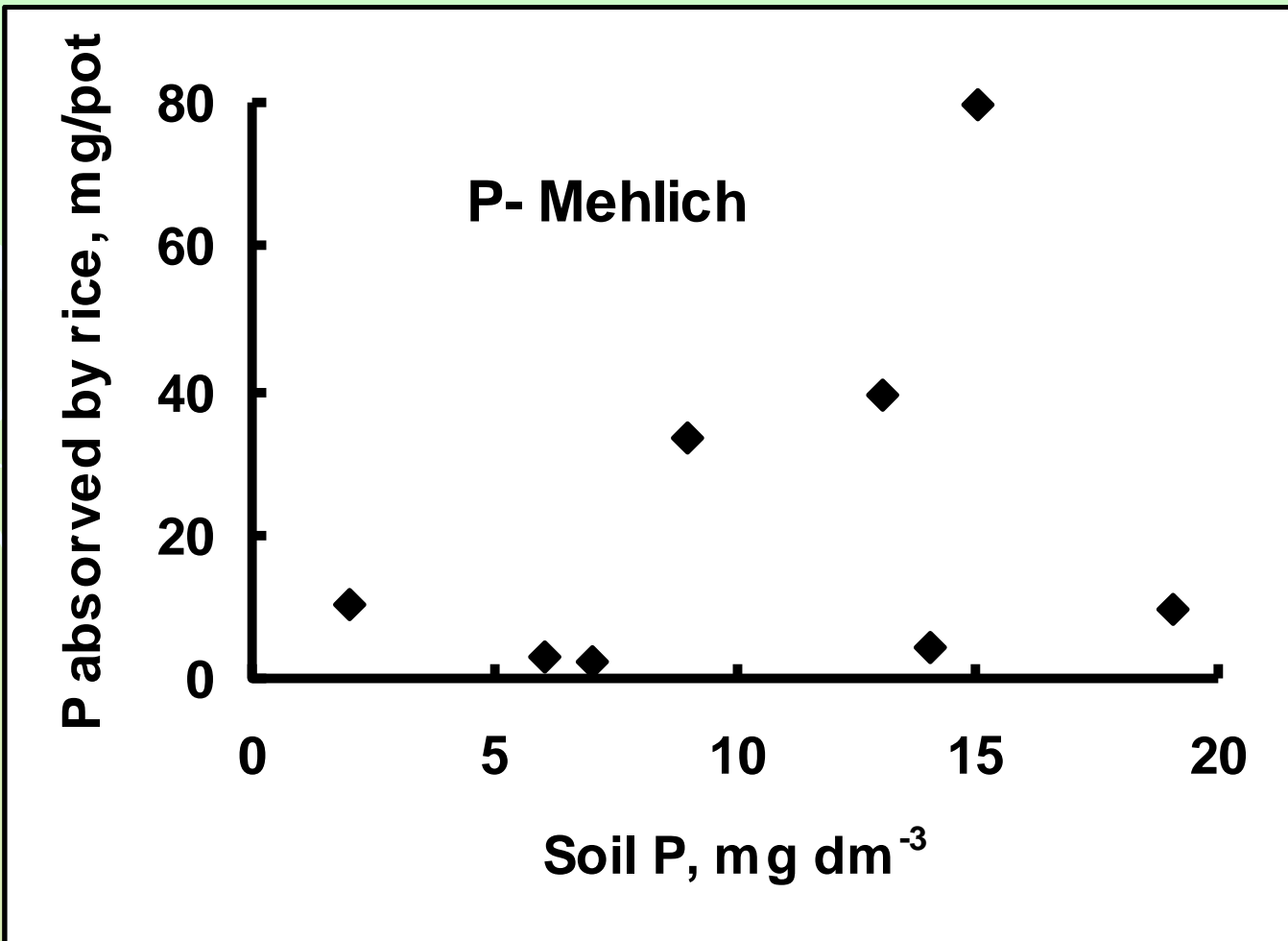
A seguir: comparações de aspectos críticos

- ❖ Sobre a qualidade dos métodos.
- ❖ Os problemas de extratores ácidos.
- ❖ pH e eficiência de extração com resina.
- ❖ Os métodos e a avaliação de P lábil e resíduos de fosfatos naturais.
- ❖ Sensibilidade para avaliar o aumento de disponibilidade de P pela calagem.

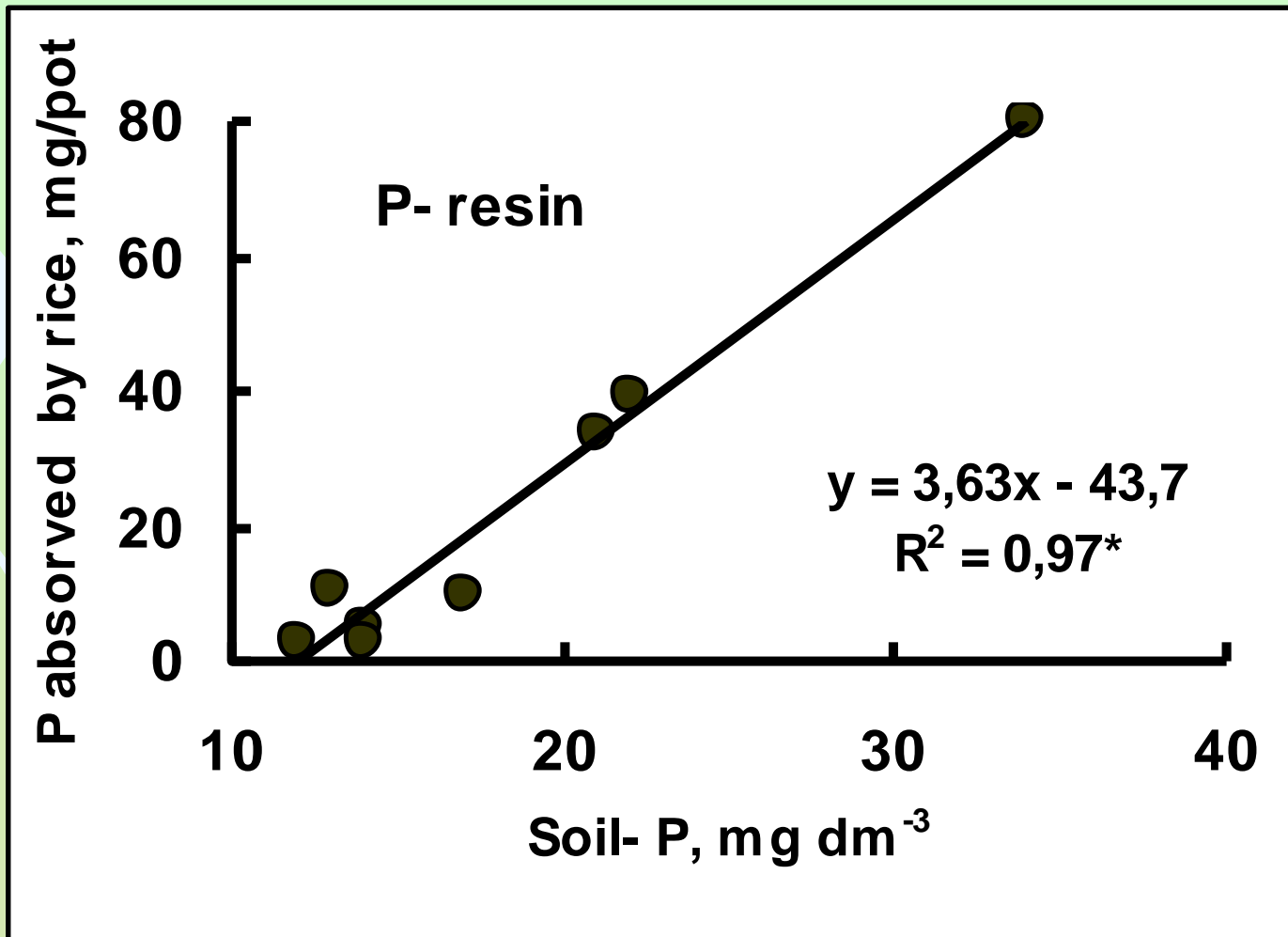
Comparação de métodos na literatura mundial, de 1953 a 1977 – 42 trabalhos (Raij, 1978)

Método	Número de trabalhos em que foi testado	Eficiência 100 r²
Resina	16	71
Olsen	32	55
Mehlich 1	12	49
Bray 1	29	46
Bray 2	14	38
Morgan	13	32

Um caso específico de experimento em vasos com arroz inundado (Grande et al., 1986) - 1



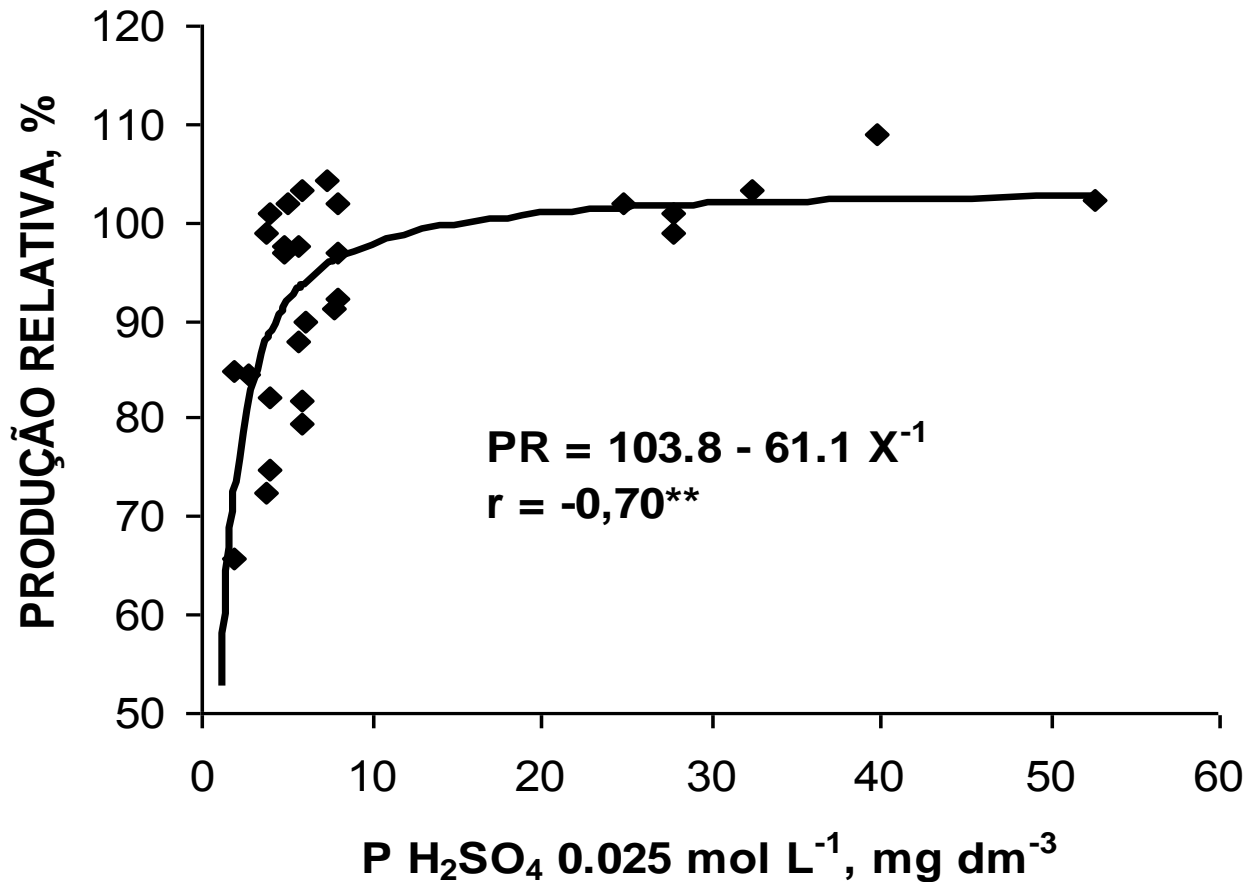
Um caso específico de experimento em vasos com arroz inundado (Grande et al., 1986) - 2



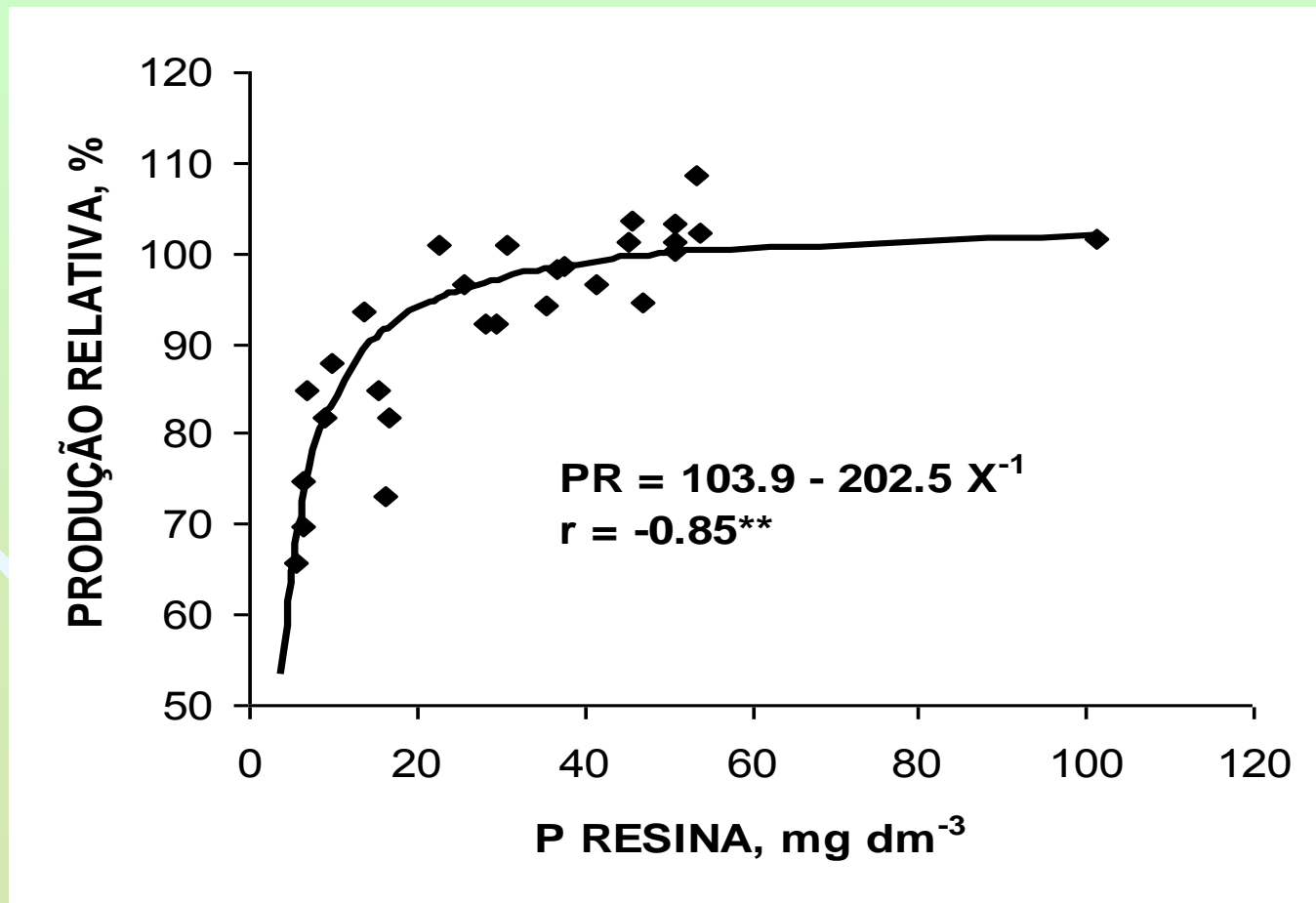
Comparação de métodos – complementando a revisão anterior - 70 trabalhos (Silva & Raij, 1999).

Método	Coeficiente de determinação ou eficiência, 100 r², para solos		
	Ácidos	Alcalinos e neutros	Não especificados
Resina	84	83	69
Olsen	47	52	58
Mehlich 1	56	39	41
Bray 1	53	25	48

Calibração da análise de solo com experimentos de campo de algodão (Raij et al., 1986)



Calibração da análise de solo com experimentos de campo de algodão (Raij et al., 1986)



Influência do pH na extração de P de solos bem supridos (Raij et al., 1986).

Tratamento da resina	Solo 1 – Produção de algodão, kg ha ⁻¹ · Sem P, 2.058; com P, 2.244		Solo 2 – Produção de algodão, kg ha ⁻¹ · Sem P, 3.678; com P, 3.573	
	pH da suspensão	P solo mg dm ⁻³	pH da suspensão	P solo mg dm ⁻³
Resina-H	3,34	2	3,37	3
Resina-NaCl	5,29	1	5,58	5
Resina-NaHCO₃	6,79	12	6,78	36

A extração de P de solos com diversos adubos

- Experimento de soja em vasos com aplicação de:
 - ❖ Superfosto triplo (ST) no plantio = referência 100
 - ❖ Superfostato triplo 75 dias antes
 - ❖ Fosfato natural alvorada – 75 dias antes
 - ❖ Fosfato de alumínio calcinado – 75 dias antes

Resultados de aumentos de P absorvido pela soja e P no solo – valores absolutos (Raij & Diest, 1980).

Avaliação do P do solo	ST aplicado no plantio	Adubos aplicados 75 dias antes do plantio		
		ST	Alvorada	Fosf. Al
P soja, mg vaso ⁻¹	4,26	2,25	1,13	1,72
P resina mg dm ⁻³	12,7	7,9	1,7	4,9
P Mehlich 1 mg dm ⁻³	27,9	24,6	42,8	15,0
P Bray 1 Mg dm ⁻³	37,9	39,6	7,90	39,4

Resultados de aumentos de P absorvido pela soja e P no solo – Índices relativos (Raij & Diest, 1980).

Avaliação do P do solo	ST aplicado no plantio	Adubos aplicados 75 dias antes do plantio		
		ST	Alvorada	Fosf. Al
P soja, %	100	53	27	40
P resina, %	100	62	11	39
P Mehlich 1, %	100	88	153	54
P Bray 1, %	100	104	21	104

O efeito da calagem em P no solo

4 experimentos de calagem: aumento de pH, produções e de P nas folhas.

Os extratores comportam-se de maneira diferente.

P no solo em experimento de calagem com feijão – Pariquera-Açu

pH em CaCl ₂	P folha mg kg ⁻¹	P no solo, em mg dm ⁻³ , para método			
		Mehlich 1	Bray 1	Olsen	Resina
3,8 d	2,44 b	17 a	20 a	41 a	33 b
4,2 c	3,21 a	18 a	21 a	33 b	36 ab
4,7 b	3,25 a	18 a	20 a	26 c	38 ab
5,1 a	3,26 a	19 a	18 a	19 d	43 a
5,2 a	3,25 a	20 a	19 a	21 d	43 a

P no solo em experimento de calagem com girassol – Mococa

pH em CaCl_2	P folha mg kg^{-1}	P no solo, em mg dm^{-3} , para método			
		Mehlich 1	Bray 1	Olsen	Resina
4,3 c	2,79 c	12 b	24 a	17 a	22 b
4,6 c	3,27 b	12 b	22 a	17 a	26 ab
5,3 b	3,81 a	16 a	25 a	16 a	33 ab
5,5 ab	3,87 a	15 a	20 a	12 a	35 a
5,7 a	3,80 a	16 a	20 a	12 a	37 a

P no solo em experimento de calagem com soja – Mococa

pH em CaCl_2	P folha mg kg^{-1}	P no solo, em mg dm^{-3} , para método			
		Mehlich 1	Bray 1	Olsen	Resina
4,3 a	1,85 c	6 a	15 a	10 a	13 c
4,8 d	2,06 bc	7 a	16 a	11 a	16 c
5,5 c	2,44 ab	5 a	13 a	7 a	17 bc
6,1 b	2,26 a	7 a	17 a	8 a	22 ab
6,4 a	2,55 a	7 a	15 a	8 a	27 a

P no solo em experimento de calagem – com soja – Ribeirão Preto

pH em CaCl ₂	P folha mg kg ⁻¹	P no solo, em mg dm ⁻³ , para método			
		Mehlich 1	Bray 1	Olsen	Resina
4,5 d	2,35 b	9 a	20 a	18 a	16 c
4,9 c	2,69 ab	8 a	22 a	15 ab	19 bc
6,1 b	2,88 a	8 a	20 a	13 ab	23 b
6,6 a	2,85 a	10 a	24 a	12 b	34 a

CONCLUSÕES – Método da resina

O método de extração de fósforo com resina trocadora de íons, além do adequado embasamento científico que apresenta, supera os outros métodos na avaliação da biodisponibilidade de P em todas as circunstâncias.

CONCLUSÕES – Método Mehlich 1

- O extrator Mehlich 1 para fósforo, por ser teoricamente inadequado, apresenta um número excessivo de falhas, destacando-se:
 - 1 – Baixa correlação com índices biológicos de P no solo.
 - 2 – É inadequado para solos alcalinos.

CONCLUSÕES – Método Mehlich 1

3 - Subestima P em alguns solos argilosos

4 - Superestima P em solos recém adubados ou contendo resíduos de fosfatos naturais.

5 – Não detecta aumento da disponibilidade de P promovido pela calagem.

CONCLUSÕES – Método Mehlich 1

- 6 – Constitui risco metodológico se usado na agricultura de precisão, por não ser sensível à relação de solubilidade de P versus pH.
- 7 – Não incorpora o “fator capacidade”, necessitando da determinação de argila para melhorar um pouco a interpretação.

CONCLUSÕES

A escolha do método de análise de fósforo em solos requer análise de risco econômico