



Anais do Simpósio sobre  
**Fósforo na Agricultura Brasileira**  
São Pedro-SP, 14 a 16 de maio de 2003



# FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA

**Tsuioshi Yamada**  
**Silvia Regina Stipp e Abdalla**

– Editores –

Publicado pela



**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PESQUISA DA  
POTASSA E DO FOSFATO**

Piracicaba-SP  
2004

**Editoração, normatização e revisão de texto:** Eng<sup>a</sup> Agr<sup>a</sup> Suzana Oellers Ferreira

**Ilustração:** Evandro Luis Lavorenti e Guilherme Cavagioni Mendes

**Diagramação e capa:** Eng<sup>a</sup> Agr<sup>a</sup> Sílvia Regina Stipp e Abdalla

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO – ESALQ/USP**

Simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira (2003 : São Pedro, SP)  
Anais do Simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira / editado por Tsuioshi Yamada e Sílvia Regina Stipp e Abdalla. -- Piracicaba : POTAFOS, 2004.  
726 p. : il.

1. Adubação 2. Agricultura 3. Fertilizante fosfatado I. Yamada, T., ed. II. Abdalla, S.R.S. e, ed. III. Título

CDD 631.85

*É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios de reprodução sem a autorização por escrito dos autores e da editora*

IMPRESSO NO BRASIL  
PRINTED IN BRAZIL

## **APRESENTAÇÃO**

É um privilégio para POTAFOS apresentar aos nossos leitores os Anais do Simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira, ocorrido em maio de 2003, em Piracicaba-SP.

Sendo o fósforo um nutriente com reservas minerais finitas e insubstituível no metabolismo vegetal e animal, seu uso racional torna-se preocupação e responsabilidade crescente para todos.

O desafio de organizar e condensar o conhecimento disponível sobre fósforo nas condições brasileiras resultou do desejo e da necessidade de englobar em uma só obra a trajetória do fósforo no ambiente agrícola, desde sua origem na rocha, dinâmica no solo, sua essencialidade e funções na planta, até as fontes do elemento e a forma de fornecê-lo às principais culturas brasileiras através da adubação.

Os talentos combinados dos vários autores, de diferentes especialidades, contribuíram para o brilhantismo do livro, e a eles estendemos nossos sinceros agradecimentos.

Piracicaba, maio de 2004

Tsuiohi Yamada, diretor  
Associação Brasileira para Pesquisa  
da Potassa e do Fosfato

# ÍNDICE

## **Capítulo 1. FÓSFORO – ESSENCIAL PARA A VIDA**

*Mark D. Stauffer, Gavin Sulewski*

1. Introdução .....	1
2. Impactos da deficiência de fósforo .....	2
3. Disponibilidade de fósforo .....	3
4. Necessidade de fósforo .....	5
5. A oportunidade do Brasil .....	7
6. A importância da pesquisa sobre Produtividade Máxima Econômica (PME) .....	9
7. O desafio .....	10
8. Referências .....	11

## **Capítulo 2. RESERVAS DE FOSFATOS E PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS NO BRASIL E NO MUNDO**

*Alfredo Scheid Lopes, Carlos Alberto Pereira da Silva, Ana Rosa Ribeiro Bastos*

1. Introdução .....	13
2. Reservas e recursos .....	14
3. A evolução histórica da indústria de fertilizantes no Brasil .....	21
4. A evolução do perfil de consumo de fertilizantes fosfatados no Brasil .....	23
5. Tendências futuras de consumo de fertilizantes fosfatados no Brasil .....	27
6. Considerações finais .....	31
7. Referências .....	33

### **Capítulo 3. O FÓSFORO NA PLANTA E INTERAÇÕES COM OUTROS ELEMENTOS**

*Eurípedes Malavolta*

1. Introdução .....	35
2. Absorção radicular .....	39
3. Absorção foliar .....	52
4. Transporte .....	56
5. Redistribuição .....	59
6. Compostos .....	60
7. Papéis no metabolismo .....	62
8. Herança .....	71
9. Interações .....	72
10. Exigências .....	75
11. Fecho .....	90
12. Referências .....	98

### **Capítulo 4. FÓSFORO NO SOLO E INTERAÇÃO COM OUTROS ELEMENTOS**

*Bernardo van Raij*

1. Introdução .....	107
2. Formas de fósforo no solo .....	108
3. Solubilidade .....	109
4. Correção do solo com fósforo e calagem .....	112
5. Referências .....	114

### **Capítulo 5. O PAPEL DOS MICRORGANISMOS NA DISPONIBILIZAÇÃO E AQUISIÇÃO DE FÓSFORO PELAS PLANTAS**

*José Oswaldo Siqueira, Alex Teixeira Andrade,  
Valdemar Faquin*

1. Introdução .....	117
---------------------	-----

2. Os microrganismos e as transformações do fósforo no solo .....	121
3. Aquisição de fósforo .....	131
4. Considerações finais .....	147
5. Referências .....	149

## **Capítulo 6. ADUBAÇÃO FOSFATADA EM SOLOS DA REGIÃO DO CERRADO**

***Djalma Martinhão Gomes de Sousa; Edson Lobato***

1. Introdução .....	157
2. Dinâmica do fósforo no solo .....	158
3. Resposta das culturas à adubação com fósforo .....	159
4. Influência da acidez e de outros fatores na eficiência da adubação fosfatada .....	160
5. Aplicação de fertilizantes fosfatados .....	164
6. Interpretação da análise de solo e recomendação de adubação .....	169
7. Fontes de fósforo .....	182
8. Efeito residual .....	185
9. Avaliação econômica .....	192
10. Considerações finais .....	195
11. Referências .....	196

## **Capítulo 7. ADUBAÇÃO FOSFATADA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO**

***João Carlos de Moraes Sá***

1. Introdução .....	201
2. Influência do sistema de manejo do solo na dinâmica do fósforo .....	201
3. Resposta das culturas à adubação fosfatada em plantio direto .....	211
4. Considerações finais .....	219
5. Referências .....	220

## **Capítulo 8. RESPOSTA DA SOJA À ADUBAÇÃO FOSFATADA**

***Áureo Francisco Lantmann; César de Castro***

1. Introdução .....	223
2. Considerações sobre a nutrição da soja com fósforo .....	224
3. Manejo do solo e resposta da soja à adubação fosfatada .....	226
4. Diagnose da necessidade de fósforo para a soja .....	231
5. Conclusão .....	239
6. Referências .....	239

## **Capítulo 9. ADUBAÇÃO FOSFATADA NA CULTURA DO MILHO**

***Antônio Marcos Coelho; Vera Maria Carvalho Alves***

1. Introdução .....	243
2. Indicadores do consumo de fertilizantes .....	244
3. Acúmulo e exportação de fósforo .....	245
4. Avaliação do estado nutricional utilizando diagnose foliar .....	249
5. Interação da disponibilidade de fósforo com outros fatores .....	252
6. Resposta do milho à adubação fosfatada, níveis críticos de P no solo e doses de $P_2O_5$ recomendadas .....	254
7. Manejo da adubação fosfatada .....	261
8. Taxa variável de aplicação de fósforo .....	265
9. Variabilidade genética em milho para eficiência no uso de fósforo ...	267
10. Referências .....	274

## **Capítulo 10. FÓSFORO NA CULTURA DO ALGODÃO EM MATO GROSSO**

***Leandro Zancanaro***

1. A cultura do algodão no Estado de Mato Grosso .....	285
2. Critérios adotados na adubação da cultura do algodão no Estado de Mato Grosso .....	286

3. Manejo da adubação fosfatada adotado no Estado de Mato Grosso ...	287
4. Custo da adubação na cultura do algodão em Mato Grosso .....	288
5. Considerações finais .....	289

## **Capítulo 11. FÓSFORO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

*Gaspar Henrique Korndörfer*

1. Introdução .....	291
2. Cana-planta .....	293
3. Cana-soca .....	295
4. Fontes de fósforo para a cana-de-açúcar .....	299
5. Adubação fosfatada fluida .....	299
6. Utilização da torta de filtro como fonte de fósforo para a cana-de-açúcar .....	301
7. Referências .....	303

## **Capítulo 12. RESPOSTA À ADUBAÇÃO FOSFATADA NA CULTURA DO CAFÉ**

*Ondino C. Bataglia*

1. O fósforo na cultura do cafeeiro .....	307
2. Critérios diagnósticos da necessidade de adubação fosfatada .....	311
3. Resposta do cafeeiro à adubação fosfatada .....	316
4. Recomendação de adubação fosfatada para o cafeeiro .....	320
5. Referências .....	324

## **Capítulo 13. ADUBAÇÃO FOSFATADA NA CULTURA DOS CITROS**

*José Eduardo Creste*

1. Introdução .....	329
2. Caracterização dos solos utilizados para a citricultura .....	330
3. Exigências nutricionais de plantas cítricas .....	331



4. Curvas de produção .....	339
5. Adubação de plantas cítricas .....	341
6. Adubação em função da idade das plantas .....	344
7. Questionamentos à adubação fosfatada .....	346
8. Respostas dos citros à adubação fosfatada .....	350
9. Fundamentos da adubação fosfatada eficiente .....	351
10. Fósforo e parâmetros qualitativos da produção .....	352
11. Resultados esperados .....	354
12. Referências .....	355

#### **Capítulo 14. ADUBAÇÃO FOSFATADA EM PASTAGENS CULTIVADAS COM ÊNFASE NA REGIÃO DO CERRADO**

***Manuel Claudio M. Macedo***

1. Introdução .....	359
2. Sistemas de produção e índices de produção .....	361
3. Características edafoclimáticas .....	364
4. Limitações de nutrientes no solo .....	371
5. Adubação fosfatada de pastagens cultivadas .....	378
6. Critérios de recomendação de adubação .....	382
7. Fontes de nutrientes .....	386
8. Indicadores da relação planta-animal .....	392
9. Conclusões .....	396
10. Referências .....	396

#### **Capítulo 15. NUTRIÇÃO DE FÓSFORO NA PRODUÇÃO DE ARROZ DE TERRAS ALTAS**

***Nand Kumar Fageria; Morel Pereira Barbosa Filho;  
Luís Fernando Stone; Cleber Moraes Guimarães***

1. Introdução .....	401
2. Limitações químicas dos solos .....	403

3. Ciclo do fósforo no solo .....	404
4. Funções e sintomas de deficiência .....	406
5. Acumulação de matéria seca durante o ciclo da cultura .....	407
6. Teor e acumulação de fósforo e de outros nutrientes .....	408
7. Influência do fósforo na produção e seus componentes .....	411
8. Eficiência de uso do fósforo .....	412
9. Resposta da cultura à adubação fosfatada .....	414
10. Recomendações de adubação fosfatada .....	415
11. Conclusões .....	416
12. Referências .....	416

## **Capítulo 16. O FÓSFORO NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**

***Ledemar Carlos Vahl***

1. Introdução .....	419
2. Efeito do alagamento na disponibilidade do fósforo .....	420
3. Métodos de análise de fósforo no solo .....	422
4. Calibração das análises de fósforo .....	424
5. Resposta da cultura à adubação fosfatada .....	425
6. Eficiência de fontes de fósforo .....	425
7. Adubação fosfatada em sistemas de rotação arroz x culturas de sequeiro .....	429
8. Eficiência da adubação fosfatada a longo prazo .....	431
9. Referências .....	433

## **Capítulo 17. NUTRIÇÃO DE FÓSFORO NA PRODUÇÃO DE FEIJOEIRO**

***Nand Kumar Fageria; Morel Pereira Barbosa Filho;  
Luís Fernando Stone***

1. Introdução .....	435
2. Solos .....	436

3. Funções e sintomas de deficiências .....	440
4. Produção de matéria seca durante o ciclo da cultura .....	440
5. Influência do fósforo na produção e seus componentes .....	441
6. Teor e acumulação de fósforo e de outros nutrientes .....	445
7. Recomendações de adubação fosfatada .....	450
8. Conclusões .....	451
9. Referências .....	453

## **Capítulo 18. FÓSFORO NO SOLO E A CULTURA DO TRIGO**

***Sirio Wiethölter***

1. Introdução .....	457
2. Fatores determinantes do rendimento de trigo na região Sul do Brasil .....	458
3. Fósforo no solo .....	459
4. Fósforo no solo para o cultivo de trigo nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina .....	463
5. Fósforo no solo para o cultivo de trigo no Estado do Paraná .....	476
6. Fósforo no solo para o cultivo de trigo no Estado de São Paulo .....	477
7. Fósforo no solo para o cultivo de trigo no Estado do Mato Grosso do Sul .....	478
8. Fósforo no solo para o cultivo de trigo no Estado de Minas Gerais ...	479
9. Fósforo no solo para o cultivo de trigo na região do Cerrado .....	479
10. Fósforo na planta de trigo .....	482
11. Eficiência de uso de fósforo pela planta de trigo .....	485
12. Referências .....	486

## **Capítulo 19. NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO FOSFATADA EM EUCALIPTO**

***Ronaldo Luiz Vaz de Arruda Silveira; José Luiz Gava***

1. Introdução .....	495
2. Funções do fósforo .....	497

3. Sintomas de deficiência de fósforo .....	499
4. Exigências nutricionais do eucalipto em relação a fósforo .....	499
5. Resposta do eucalipto à aplicação de fósforo .....	512
6. Recomendação de adubação fosfatada.....	523
7. Referências .....	530

## **Capítulo 20. FATORES QUE INTERFEREM NA EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA**

***Ibanor Anghinoni***

1. Introdução .....	537
2. Eficiência da adubação fosfatada .....	538
3. Destino no solo do fósforo aplicado como adubo .....	538
4. Reações do fósforo no sistema solo-planta: processos, mecanismos e fatores .....	540
5. Uso da modelagem para determinar a importância dos fatores que afetam a eficiência da adubação fosfatada .....	543
6. Eficiência da forma de adubação em diferentes manejos de solo .....	550
7. Referências .....	558

## **Capítulo 21. MÉTODOS DE DIAGNOSE DE FÓSFORO NO SOLO EM USO NO BRASIL**

***Bernardo van Raij***

1. Introdução .....	563
2. A análise de fósforo em solos .....	564
3. Características dos métodos Mehlich 1 e resina .....	567
4. Resina, Mehlich 1 e determinação da biodisponibilidade de fósforo em solos .....	571
5. Discussão .....	581
6. Referências .....	582

**Capítulo 22. METODOLOGIAS DE EXTRAÇÃO QUÍMICA  
PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE  
FERTILIZANTES FOSFATADOS**

***José Carlos Alcarde; Luís Ignácio Prochnow***

1. Introdução .....	589
2. As formas químicas do fósforo nos fertilizantes .....	590
3. Eficiência agronômica das diferentes formas químicas do fósforo ...	592
4. Avaliação em laboratório: solubilidade em extratores químicos .....	593
5. Legislação brasileira relativa aos fertilizantes fosfatados .....	598
6. Sugestões .....	600
7. Referências .....	602

**Capítulo 23. EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DOS FOSFATOS  
TOTALMENTE ACIDULADOS**

***Luís Ignácio Prochnow; José Carlos Alcarde;  
Sen Hsuing Chien***

Considerações iniciais .....	605
1. Introdução .....	606
2. Principais produtos .....	607
3. Produção e composição química .....	607
4. Reação no solo dos principais fosfatos totalmente acidulados .....	618
5. Métodos de avaliação da eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados .....	626
6. Fatores que influem na eficiência agronômica de fosfatos totalmente acidulados .....	637
7. Os fosfatos totalmente acidulados devem sempre possuir elevada solubilidade em água? .....	644
8. Referências .....	651

## **Capítulo 24. EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DOS FOSFATOS NATURAIS**

*Nelson Horowitz; Egon J. Meurer*

1. Introdução .....	665
2. Fertilizantes fosfatados .....	666
3. Considerações para a utilização de fosfatos naturais reativos .....	681
4. Referências .....	682

## **Capítulo 25. EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DOS TERMOFOSFATOS E FOSFATOS ALTERNATIVOS**

*Godofredo Cesar Vitti; Alf de Wit; Bárbara E.P. Fernandes*

1. Introdução .....	689
2. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados .....	690
3. Origem das jazidas fosfáticas .....	695
4. Reservas de fósforo .....	696
5. Produção de fosfatos de rocha .....	697
6. Mineração, beneficiamento e produção .....	699
7. Adubação fosfatada .....	720
8. Conclusão .....	723
9. Referências .....	724