



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^a Agr^a Suzana Oellers Ferreira

Ilustração: Evandro Luis Lavorenti e Guilherme Cavagioni Mendes

Diagramação e capa: Eng^a Agr^a 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

Tsuiooshi 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