

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Eficiência agronômica de fontes alternativas de fósforo e modelo de predição  
do uso de fosfatos naturais**

**Daniela da Silva Benedito**

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em  
Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de  
Plantas**

**Piracicaba  
2007**

**Daniela da Silva Benedito**  
**Engenheira Agrônoma**

**Eficiência agronômica de fontes alternativas de fósforo e modelo de predição do uso de  
fosfatos naturais**

**Orientador:**  
**Prof. Dr. LUÍS IGNÁCIO PROCHNOW**

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em  
Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de  
Plantas**

**Piracicaba**  
**2007**

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

Benedito, Daniela da Silva

Eficiência agrônômica de fontes alternativas de fósforo e modelo de predição do uso de fosfatos naturais / Daniela da Silva Benedito. - - Piracicaba, 2007.  
121 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.  
Bibliografia.

1. Fertilizantes fosfatados 2. Fosfatos 3. Fósforo 4. Química do solo I. Título

CDD 631.41

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”**

*Ao grande Deus detentor de toda força e luz,  
sempre presente na caminhada da vida,  
rumando em busca da felicidade.*

### **OFEREÇO**

*Ao meu filho, Luiz Felipe,  
meu Amor maior e mais pleno;*

*À minha tão amada e querida mãe, Dirce,  
exemplo maior de mulher batalhadora e perseverante,  
que sempre lutou, e luta, para fazer o caminho pela vida cada dia mais feliz;*

*A toda minha família,  
pessoas essenciais nessa trajetória.*

### **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e à Comissão de Pós-Graduação do Departamento de Ciência do Solo pela oportunidade concedida para realização do curso.

Ao Luís Ignácio Prochnow, meu orientador, exemplo de ser humano, no sentido literal da expressão, e profissional, pelos ensinamentos de vida e profissão que me foram passados. Agradeço também pela imensa amizade, confiança, compreensão e paciência que teve durante todo o decorrer desse curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu namorado Leandro Pineda pelo companheirismo, amizade, respeito e presença especial em minha vida.

Aos funcionários João e Leandro, técnicos do Laboratório de Fertilizantes do Departamento de Ciência do Solo – ESALQ/USP, pelo apoio constante na execução dos testes de solubilidade de fósforo.

À Maria Cristina Motta de Toledo e Aline Silverol, integrantes da equipe Humifert, pelo constante auxílio na condução desse trabalho.

À Fundação MT pelo grande apoio na condução do experimento para validação do PRDSS.

Aos amigos Gean, Graziela, Eros e Rodrigo pela amizade, auxílio no desenvolvimento desse projeto e pelo ótimo convívio durante o curso e, especialmente ao amigo Adilson, pelos grandes auxílios estatísticos e companheirismo em todos os momentos.

Aos estagiários Johnny e Larissa pelo auxílio na condução e avaliação dos experimentos.

Às amigas Gladys, Camila, Susian, Lílian, Mara, Fernanda Carvalho e Josiane, pessoas muito especiais pela grande amizade, incentivo, diversão e muita força nessa fase.

À funcionária Martinha, pessoa muito iluminada, pelas palavras carinhosas de apoio, incentivo, conselhos e, principalmente, verdadeira amizade demonstrada.

Às funcionárias Jackeline, Karina, Nancy, Marta e Flávia, do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, pela constante cooperação no encaminhamento desse trabalho.

Ao motorista Dorival, sempre muito solícito, pelas coletas das amostras de solo utilizadas na condução dessa pesquisa e aos funcionários Fernando e Hudso pelo auxílio na condução dos experimentos.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para execução deste trabalho.

“Isso nós sabemos.  
Todas as coisas são conectadas  
como o sangue  
que une uma família...”

O que acontecer com a terra  
acontecerá com os filhos e filhas da terra.  
O Homem não teceu a teia da vida,  
ele é dela apenas um fio.  
O que ele fizer para a teia  
estará fazendo a si mesmo.”

Ted Perry

## SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
1 INTRODUÇÃO.....	11
Referências.....	14
2 REVISÃO: FONTES ALTERNATIVAS DE FÓSFORO.....	16
Resumo.....	16
Abstract.....	16
2.1 Introdução.....	17
2.2 Desenvolvimento.....	18
2.2.1 A importância do fósforo para as plantas.....	18
2.2.2 A necessidade de adubação fosfatada.....	19
2.2.3 Reação do fósforo nos solos agricultáveis.....	23
2.2.4 Fontes tradicionalmente empregadas.....	25
2.2.5 Fontes alternativas.....	28
2.2.5.1 Termofosfatos.....	29
2.2.5.2 Fosfatos naturais.....	33
2.2.5.3 Fosfatos naturais parcialmente acidulados.....	37
2.2.5.4 Mistura de fontes de diferentes solubilidades.....	41
2.2.5.5 Solubilização da rocha fosfática por materiais orgânicos.....	46
2.2.5.6 Outras fontes alternativas de fósforo.....	49
2.3 Conclusões.....	52
Referências.....	53
3 EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE COMPOSTOS ORGANO-FOSFATADOS OBTIDOS PELO PROCESSO HUMIFERT.....	64
Resumo.....	64
Abstract.....	65
3.1 Introdução.....	65
3.2 Desenvolvimento.....	69



3.2.1 Material e Métodos.....	69
3.2.1.1 Definição e caracterização das matérias primas usadas no processo Humifert.....	69
3.2.1.2 Funcionamento do equipamento Humifert.....	71
3.2.1.3 Produção dos compostos.....	73
3.2.1.4 Caracterização dos materiais.....	74
3.2.1.5 Experimentos agronômicos.....	74
3.2.2 Resultados e discussão.....	81
3.2.2.1 Produção dos compostos – testes de tempo de exposição dos materiais.....	81
3.2.2.2 Eficiência agronômica de mistura de rocha fosfática de Patos de Minas com turfa submetidos ao processo Humifert.....	82
3.2.2.3 Eficiência agronômica de mistura de rocha fosfática de Arad ou rejeito de Tapira com turfa submetidos ao processo Humifert .....	83
3.3 Conclusões.....	86
Referências.....	87
4 MODELO DE PREDIÇÃO DO USO DE FOSFATOS NATURAIS EM CONDIÇÕES BRASILEIRAS.....	89
Resumo.....	89
Abstract.....	90
4.1 Introdução.....	90
4.2 Desenvolvimento.....	99
4.2.1 Material e métodos.....	99
4.2.2 Resultados e discussão.....	104
4.3 Conclusão.....	109
Referências.....	109
APÊNDICES.....	112

## RESUMO

### **Eficiência agronômica de fontes alternativas de fósforo e modelo de predição do uso de fosfatos naturais**

Os fertilizantes fosfatados (FF) mais utilizados na agricultura são solúveis em água, e requerem enxofre elementar e concentrados apatíticos de elevada qualidade para produção, conduzindo à subutilização dos depósitos de fosfato (perdas elevadas de P no beneficiamento). Conseqüentemente, é necessário estudar as fontes alternativas de P. Neste trabalho foram estudadas quanto à: (i) revisão de literatura que tenta mostrar a situação atual no Brasil e no mundo; (ii) produção alternativa de fonte de P que integra matéria orgânica e RF (Humifert); e (iii) utilização de software para predizer a eficiência agronômica (EA) de RF, relativamente às fontes de P solúveis em água. Na revisão da literatura foram enfatizados: tratamento térmico, acidulação parcial, compactação ou mistura com FF solúveis em água, tratamentos com resíduos orgânicos e/ou microrganismos. Outros aspectos apontaram: (i) condições gerais para utilizar fontes de P de elevada solubilidade em água e alternativas; (ii) manejo de solos prevendo solubilização de formas de P nativo e aumento na EA de fontes de P através de cultivos precedentes ou microrganismos; (iii) calcinação de RFs do tipo Ca-Al-P (crandallita); e (iv) necessidade de pesquisas com fontes alternativas de P em condições de casa-de-vegetação e campo. Quanto ao processo Humifert, um reator foi construído para trabalhar em escala de bancada. Os objetivos foram gerar informações sobre produção dos fertilizantes “Humifert” e testar a EA dos mesmos. Diversos testes foram conduzidos quanto às condições de operação do equipamento, como tempo de reação e solubilidade dos materiais produzidos. Dois experimentos agronômicos foram conduzidos em casa-de-vegetação, relacionando os resultados dos produtos obtidos no equipamento com fonte padrão de P. Esse processo conduz a desempenho agronômico superior da RF quando comparada a mesma sem submissão às reações. Embora algumas vantagens em aumento de produção devido ao Humifert, a solubilidade e os resultados agronômicos indicam necessidade de mais pesquisas para adequar as reações, para obter fontes de P de melhor qualidade. O software para predizer a eficiência das RFs denomina-se “Phosphate Rock Decision Support System” (PRDSS) e foi desenvolvido com colaboração entre “IFDC” e “IAEA”. O objetivo final é predizer a EA de RF específica relativamente a fontes de P de elevada solubilidade em água, considerando solo, características da RF, manejo do solo e clima na localidade. O experimento foi conduzido em Rondonópolis, em um LV com pH em água de 5,2, teor muito baixo de P e capacidade média de adsorção de P. As fontes de P utilizadas foram superfosfato simples, RF de Araxá e de Gafsa, aplicadas a lanço e incorporadas em 15 cm de solo, nas doses 60, 120 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total. Um controle foi adicionado para cada fonte de P. Os resultados de EAR para soja no campo foram de 100%, 51% e 97% para o SSP, RF Araxá e Gafsa, respectivamente. Os valores de EAR preditos pelo PRDSS foram de 33% e 100% para a RF Araxá e Gafsa, respectivamente, sendo consideradas boas estimativas da EAR real em condições brasileiras, inicialmente comprovando a aplicabilidade deste software para uso futuro.

Palavras-chave: Fontes alternativas de fósforo; Eficiência agronômica relativa; Processo Humifert; Predição do uso de fosfatos naturais

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

