UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

RECOMENDAÇÃO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO PARA GIRASSOL SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Enrique Oswin Hahn Villalba

Santa Maria, RS, Brasil

2008

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

RECOMENDAÇÃO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO PARA GIRASSOL SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI.

por

Enrique Oswin Hahn Villalba
Engenheiro Agrônomo

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. PhD. Flávio Luiz Foletto Eltz

Santa Maria, RS, Brasil

2008

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

RECOMENDAÇÃO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO PARA GIRASSOL SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI.

elaborada por
Enrique Oswin Hahn Villalba

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISÃO EXAMINADORA:

Flávio Luiz Foletto Eltz, PhD.

(Presidente/Orientador)

Thomé Lovato, Dr. (UFSM)

Ildegardis Bertol, Dr. (UDESC)

Santa Maria, 19 de Março de 2008.

DEDICADO A PACHU, JIME, FABRI Y ANABELITA,
HIJOS DE MIS EJEMPLARES HERMANOS JAVI, CHRISTIAN Y ANA,
NIETOS DE MIS MEJORES PROFESORES ESTHER Y EUGENIO,
CON ESTA FAMILIA APRENDI A AMAR Y A LUCHAR POR MIS IDEALES.

OTORGO ESTE TRABAJO A AYI, POR SU COMPRENSIÓN, AMOR Y CONFIANZA,
CONMIGO SIEMPRE...

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Esther e Eugenio, pessoas as quais devo tudo. Pelo sustento e luta pela minha educação, estiveram sempre quando precisava, me apoiando e incentivando constantemente com dicas e conselhos.

Aos meus irmãos maiores Javier, Christian e Analia, exemplos para minha formação pelo jeito com que vivem, junto dos quais conheci o amor familiar e aos meus cunhados Rossana, Natalia e Daniel, pela torcida pela minha formação.

A Adriana, minha namorada e melhor amiga, pela sua fortaleza na distância, pelo apoio incondicional, um agradecimento especial para sua querida família.

Aos meus sobrinhos Paz, Jimena, Fabricio e Anabel, que me fizeram conhecer um outro lado do amor.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Centro de Ciências Rurais e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela possibilidade da realização do mestrado.

Ao meu orientador Prof. Flávio Luiz Foletto Eltz, pela amizade, pelo exemplo de trabalho profissional e pelo apoio nos momentos de incertezas, indicando o caminho.

Ao professor Thomé Lovato, pela sua qualidade humana e sua ajuda aos estudantes paraguaios em Santa Maria.

Aos colegas do programa de pós-graduação pelas discussões, pelas dicas e a troca de experiência.

Aos meus amigos Federico Barreto e Ramiro Samaniego, pelo convívio, amizade e ajuda na execução deste trabalho.

Aos meus amigos Franco Gimenez e Vinicius Baron, pela ajuda nos experimentos.

Aos colegas colombianos Luisa e Luis, pelo convívio e adaptação em forma conjunta e pela sua amizade valiosa e ajuda constante .

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e ao programa Programa PEC-PG (Programa Convênio Estrangeiros - Brasil), pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Conselho Diretivo da Cooperativa Colônias Unidas, pela ajuda para meu crescimento profissional e pelo investimento no desenvolvimento de nossa região.

Aos Engenheiros Agrônomos Liliana Tischler e Eduardo Dietze, pela sua ajuda e companherismo para a realização deste trabalho.

Aos técnicos companheiros do setor de Assistëncia Técnica Agropecuaria da Cooperativa Colônias Unidas (Fernando Galeano, Griselda Cardozo, Orlando Gallas, Fernando Uscher, Carmen Sitzmann, Hilda Maciel, Oscar Danielli, Oscar Guerrero, entre outros).

À Câmera Paraguaia de Exportadores de Cereais e Oleaginosas (CAPECO) e seus sócios e ao Instituto de Biotecnologia Agrícola (INBIO), pela ajuda financeira para a realização deste trabalho.

Ao Eng. Agr. Luis Cubilla, pela ajuda para a realização deste trabalho em nosso país.

Ao Ademir Wendling e sua namorada Graziele, pelo convívio e ajuda com sugestões, correções e dicas para a realização deste trabalho.

Ao meu amigo Flávio Zucheto, por proporcionar-me um espaço na sua querida família, por momentos de alegria, amizade e pelos churrascos compartilhados na sua residëncia.

Ao meu amigo Nilson Braccini e família, pela amizade, pelas viagens e por os momentos compartilhados.na vida, sempre os terei comigo.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

RECOMENDAÇÃO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO PARA GIRASSOL SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI.

AUTOR: ENRIQUE OSWIN HAHN VILLALBA
ORIENTADOR: PROF. FLÁVIO LUIZ FOLETTO ELTZ
Local e data da Defesa: Santa Maria, 19 de março de 2008.

A cultura do girassol possui características agronômicas importantes, como alta produção de fitomassa e elevada resistência à seca, frio e calor em relação a maioria das culturas anuais, além de ampla adaptabilidade às diferentes condições edafoclimáticas. Seu sistema radicular profundo proporciona absorção de nutrientes das camadas mais profundas, ciclando grandes quantidades de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). A área cultivada com girassol teve grande expansão nos últimos anos no Paraguai, mas ainda não se tem uma recomendação de adubação em N, P e K para a cultura nas regiões produtoras. O objetivo deste trabalho foi elaborar uma primeira recomendação de fertilizantes para girassol sob sistema plantio direto no Paraguai, estabelecendo teores críticos para P e K no solo em diferentes classes texturais, visando inserir esta cultura como opção, dentro de um sistema de adubação do solo para culturas de grãos em rotação, sob sistema plantio direto no Paraguai. Foram conduzidos dois experimentos nos departamentos de Misiones e Itapúa na safra 2006/2007,. Para determinação dos atributos químicos foram efetuadas dez sub-amostras, compondo numa amostra de solo por parcela, coletadas na profundidade de 0-0,10 m. Determinou-se a resposta das plantas (rendimento relativo) às doses de máxima eficiência econômica (MEE), o teor crítico no solo para fósforo e potássio (determinado pelo método de análise Mehlich 1). O esquema experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos constaram de doses de N (0, 25, 50, 75, 100, 125) kg ha^{-1}, sendo sua fonte a uréia, doses de P (0, 40, 80, 120, 160, 200) kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato triplo), doses de K (0, 30, 60, 90, 120, 150) kg ha^{-1} de K_2O (cloreto de potássio). Os elementos que não estavam em estudo foram supridos adequadamente em cada tratamento. O teor crítico de P para Itapúa foi de 14,4 mg dm^{-3} e para Misiones foi de 15,5 mg dm^{-3}. Para K o teor crítico encontrado na cultura de girassol foi de 81,5 mg dm^{-3}. Estes teores críticos foram semelhantes aos obtidos para as culturas de soja, milho e trigo na região. As recomendações de adubação foram elaboradas para expectativa de 2000 kg ha^{-1} de grãos, para solos com teor menor que 2 % de matéria orgânica recomenda-se 60 kg ha^{-1} de N, entre 2 e 3 % 45 kg ha^{-1} de N e maior que 3 % 30 kg ha^{-1} de N. Para adubação fosfatada nas respectivas classes de fertilidade de P que são “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “alto” e “muito alto”, correspondem a aplicação de 90, 70, 50, 35 e 20 kg ha^{-1} de P_20_5 e as recomendações de adubação potássica são 120, 90, 60, 45 e 30 kg ha^{-1} de K_2O, respectivamente para as mesmas classes de fertilidade de muito baixo até muito alto.

Palavras-chaves: fertilização, semeadura direta, teor crítico.

ABSTRACT

Master of Science Dissertation
Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

Nitrogen, phosphorus and potassium recommendation for sunflower under no-tillage system in Paraguay

AUTHOR: ENRIQUE OSWIN HAHN VILLALBA
ADVISER: PROF. FLÁVIO LUIZ FOLETTO ELTZ
Dissertation place and date: Santa Maria, march 19th, 2008.

Sunflower crop has some important agronomic characteristics, as great fitomassa production, larger resistance to the drought, cold and heat than most of the cultivated species and wide adaptability to different conditions of soil and climates. Its deep root system provides absorption of nutrients of the deepest layers, ciclying great amounts of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K). The area cultivated with sunflower had great expansion in the last years in Paraguay, but still does not have a recommendation for N, P and K for the producers regions. The objective of this work was to elaborate a first recommendation of fertilizers for sunflower under no-till system in Paraguay, establishing critical tenors for P and K in the soil in different textural classes, seeking to add sunflower crop as an option, inside of a system of fertilizing the soil for crops in succession, under system direct planting in Paraguay. Experiments were carried out in the departments Misiones and Itapúa in the harvest 2006/2007. For determination of the chemical attributes ten sub-samples were made, composing one soil sample per plot, collected in the depth of 0-0,10 m. Were determined the plants answer (relative productivity) to the doses of maximum economical efficiency (MEE), the critical tenor in the soil for P and K (determined by Mehlich 1 analysis method). The experimental design was random blocks with four repetitions. The treatments consisted of doses of N (0, 25, 50, 75, 100, 125) kg ha^{-1}, using urea as N source, doses of P (0, 40, 80, 120, 160, 200) kg ha^{-1} of P_2O_5 (triple superphosphate), doses of K (0, 30, 60, 90, 120, 150) kg ha^{-1} of K_2O (potassium chloride). The elements that were not in study were supplied appropriately in each treatment. The P critical tenor for Itapúa was 14.4 mg dm^{-3} and for Misiones was of 15.5 mg dm^{-3}. For K the critical tenor found for sunflower crop was 81.5 mg dm^{-3}. These critical tenors were similar to the obtained for soybean, corn and wheat crops in the region. The fertilization recommendations were elaborated for expectation of 2000 kg ha^{-1} of grains. For soils with smaller tenor than 2% of organic matter are recommended 60 kg ha^{-1} of N, between 2 and 3% 45 kg ha^{-1} of N and larger than 3% 30 kg ha^{-1} of N. Para P fertilization in the respective classes of P fertility that are "very low", "low", "medium", "high" and "very high", they correspond the application of 90, 70, 50, 35 and 20 kg ha^{-1} of P_20_5 and the recommendations K fertilization are 120, 90, 60, 45 and 30 kg ha^{-1} of K_2O, respectively for the same classes of fertility of very low to very high.

Keywords: fertilization, no-till, critical tenor

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Evoluções da área, produção e produtividade de soja no Paraguai..... 8

Tabela 2. Exportação de nutrientes e quantidade absorvida de macronutrientes pela cultura de girassol, para a produção de 1000 kg de grãos..... 14

Tabela 3. Características químicas iniciais no solo, Misiones e Itapúa, Paraguai, 2006..... 23

Tabela 4. Equações de produtividade, coeficiente de determinação, dose de máxima eficiência técnica e econômica (MET e MEE), produtividade com a dose (MET e MEE) em função do nitrogênio aplicado no girassol, e teor de matéria orgânica no solo, experimentos Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007.. 32

Tabela 5. Equações de produtividade, coeficiente de determinação, dose de máxima eficiência técnica e econômica (MET e MEE), produtividade com a dose máxima eficiência técnica e econômica (MET e MEE), em função das doses de fósforo aplicadas no girassol, e teor de fósforo inicial no solo, nos experimentos Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007..... 38

Tabela 6. Equações de Mitscherlich, coeficiente de determinação, teor crítico do nutriente no solo em função das doses de fósforo aplicadas, nos experimentos Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007..... 41

Tabela 7. Equações de produtividade, coeficiente de determinação, dose de máxima eficiência técnica e econômica (MET e MEE), produtividade com a dose máxima eficiência técnica e econômica (MET e MEE), em função das doses de potássio aplicadas no girassol, e teor de potássio inicial no solo, Paraguai, 2007..... 48

Tabela 8. Equações de Mitscherlich, coeficiente de determinação, teor crítico do nutriente no solo em função das doses de potássio aplicadas, nos experimentos Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007..... 51

Tabela 9. Indicação preliminar de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio para a cultura de girassol, sob sistema plantio direto no Paraguai, 2007 56

Tabela 10. Recomendação de potássio para as principais culturas de grãos sob plantio direto no Paraguai..... 59

Tabela 11. Recomendação de fósforo para as principais culturas de grãos sob plantio direto no Paraguai..... 60

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Teor crítico de fósforo no solo (Classe 1), determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob Sistema Plantio Direto no Paraguai..... 5

Figura 2. Relação entre K extraído pela solução Mehlich -1 e o rendimento relativo obtido com trigo, milho e soja sob plantio direto, teor crítico e faixas de fertilidade para potássio sob plantio direto no Paraguai..... 6

Figura 3. Mapa da Região Oriental do Paraguai, com a superfície de soja cultivada na safra 2005/2006 e área semeada estimada por Departamento..... 7

Figura 4. Evoluções da superfície em hectare, produção em toneladas e produtividade de girassol no Paraguai..... 9

Figura 5. Descrição esquemática das fases de desenvolvimento do girassol, adaptado de SCHNEITER & MILLER (1981)..... 12

Figura 6. Semeadura do girassol sob Sistema Plantio Direto nos Experimentos Itapúa e Misiones (acima) e adubação (meio) de base e em cobertura realizada a lanço (meio); coleta de capítulos para medição de rendimento de grãos (esquerda abaixo) e de amostras do solo (direita abaixo), Paraguai, 2007..... 24

Figura 7. Produtividade de grãos de girassol em função das doses de nitrogênio, Misiones, Paraguai, 2007..... 30

Figura 8. Produtividade de grãos do girassol em função das doses de nitrogênio, Itapúa, Paraguai, 2007 31

Figura 9. Dose de Máxima Eficiência Econômica (MEE) em função das doses de nitrogênio e do rendimento relativo de grãos do girassol, Misiones, Paraguai, 2007..... 33

Figura 10. Dose de Máxima Eficiência Econômica (MEE) em função das doses de nitrogênio e do rendimento relativo de grãos do girassol, Itapúa, Paraguai, 2007..... 34

Figura 11. Produtividade de grãos de girassol em função das doses de fósforo, Misiones, Paraguai, 2007..... 36

Figura 12. Produtividade de grãos de girassol em função das doses de fósforo, experimento Itapúa, Paraguai, 2007..... 37

Figura 13. Dose de Máxima Eficiência Econômica (MEE) em função das doses de fósforo e do rendimento relativo de grãos do girassol, Misiones, Paraguai, 2007..... 39

Figura 14. Dose de Máxima Eficiência Econômica (MEE) em função das doses de fósforo e do rendimento relativo de grãos do girassol, Itapúa, Paraguai, 2007..... 40

Figura 15. Relação entre fósforo extraído pela solução Mehlich I e o rendimento relativo de grãos do girassol, teor crítico encontrado no solo, equação de produção e coeficiente de correlação, em função das doses de fósforo aplicado, Misiones, Paraguai, 2007..... 42

Figura 16. Relação entre fósforo extraído pela solução Mehlich I e o rendimento relativo de grãos do girassol, teor crítico encontrado no solo, equação de produção e coeficiente de correlação, em função das doses de fósforo aplicado, experimento Itapúa, Paraguai, 2007 43

Figura 17. Relação entre fósforo extraído pela solução Mehlich I e o rendimento relativo de grãos do girassol, teor crítico encontrado no solo, equação de produção e coeficiente de correlação, em função das doses de fósforo aplicado, Itapúa e Misiones, Paraguai, 2007..... 44

Figura 18. Produtividade de grãos de girassol em função das doses de potássio, Misiones, Paraguai, 2007..... 45

Figura 19. Produtividade de grãos de girassol em função das doses de potássio, Itapúa, Paraguai, 2007..... 46

Figura 20. Dose de Máxima Eficiência Econômica (MEE) em função das doses de potássio e do rendimento relativo de grãos do girassol, Misiones, Paraguai, 2007..... 49

Figura 21. Dose de Máxima Eficiência Econômica (MEE) em função das doses de potássio e do rendimento relativo de grãos do girassol, Itapúa, Paraguai, 2007..... 50

Figura 22. Relação entre potássio extraído pela solução Mehlich I e o rendimento relativo de grãos do girassol, teor crítico encontrado no solo, equação de produção e coeficiente de correlação, em função das doses de potássio aplicado, Misiones, Paraguai, 2007..... 51

Figura 23. Dose de Máxima Eficiência Econômica (MEE) em função das doses de potássio e do rendimento relativo de grãos do girassol, Itapúa, Paraguai, 2007..... 52

Figura 24. Relação entre potássio extraído pela solução Mehlich I e o rendimento relativo de grãos do girassol, teor crítico e inicial encontrado no solo, equação de produção e coeficiente de correlação, em função das doses de potássio aplicado, Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007..... 53

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Rendimento de grãos em função das aplicações de nitrogênio no girassol, por tratamento e média, Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007 70

Anexo 2. Rendimento de grãos em função das aplicações de fósforo (P_2O_5) no girassol, por tratamento e média, Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007..... 71

Anexo 3. Rendimento de grãos em função das aplicações de potássio (K_2O) no girassol, por tratamento e média, Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007..... 72

Anexo 4. Teores de fósforo no solo (Mehlich 1) por tratamento, para Misiones e Itapúa, após colheita dos experimentos, Paraguai, 2007..... 73

Anexo 5. Teores de potássio no solo (Mehlich 1) por tratamento para Misiones e Itapúa, após colheita dos experimentos, Paraguai, 2007..... 74

Anexo 6. Resultados de análise no solo para pH água 1:1, para cada tratamento, Misiones e Itapúa, após colheita dos experimentos, Paraguai, 2007..... 75

Anexo 7. Resultados de análise no solo para Cálcio (Ca), para cada tratamento, Misiones e Itapúa, após colheita dos experimentos, Paraguai, 2007..... 76

Anexo 8. Resultados de análise no solo para Magnésio (Mg), para cada tratamento, Misiones e Itapúa, após colheita dos experimentos, Paraguai, 2007..... 77

Anexo 9. Precipitação mensal total em milímetros nos meses dos experimentos do girassol, Misiones e Itapúa, ano 2006..... 78

Anexo 10. Precipitações totais anuais em milímetros, Misiones e Itapúa..... 79

Anexo 11. Características químicas iniciais no solo, Misiones e Itapúa, Paraguai..... 80

Anexo 12. Análise de significância dos rendimentos de grãos em função das doses de nitrogênio, fósforo e potássio dos experimentos em Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007..... 81

Anexo 13. Análise de significância do rendimento relativo de grãos em função dos teores de fósforo e potássio no solo, dos experimentos em Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007..... 82

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1
2. REVISÃO DE LITERATURA 3
2.1. Agricultura no Paraguai 3
2.1.1. Evolução do Sistema Plantio Direto (SPD) 3
2.1.2. Histórico de Recomendações de Fertilização no Paraguai 4
2.1.3. Principais culturas na Região Oriental 7
2.1.4. A expansão da cultura do girassol no Paraguai 8
2.2. A cultura do Girassol 11
2.2.1. Características Gerais 11
2.2.2. Fases de desenvolvimento da planta de girassol 11
2.2.3. Requerimentos Nutricionais para a cultura do Girassol 13
2.2.4. Exigências de fertilizantes e adubação NPK na cultura de girassol 14
2.2.4.1. Nitrogênio (N) 15
2.2.4.2. Fósforo (P) 16
2.2.4.3. Potássio (K) 18
2.3. Hipóteses 20
2.4. Objetivos 20
2.4.1 Objetivo geral 20
2.4.2 Objetivos específicos 20
3. MATERIAL E MÉTODOS 21
3.1 Descrição Geral 21
3.2 Solo 22
3.3 Descrição dos experimentos 22
3.4 Tratamentos 23

3.5 Delineamento experimental 25
3.6 Condução dos experimentos 25
3.6 Determinações de solo e planta 26
3.8 Interpretação dos resultados 27
3.8.1. Determinação do rendimento relativo da cultura do girassol 27
3.8.2. Doses de Máxima Eficiência Econômica (MEE) 28
3.8.3. Teor crítico de fósforo e potássio no solo 28
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO 29
4.1 Adubação nitrogenada no girassol 29
4.1.1 Produtividade de Grãos 29
4.1.2 Doses de Máxima Eficiência Econômica (MEE) 31
4.2 Adubação fosfatada no girassol 35
4.2.1. Produtividade de Grãos 35
4.2.2. Doses de Máxima Eficiência Econômica (MEE) 37
4.2.3. Determinação do Teor Crítico no solo em função das doses de Fósforo 41
4.3 Adubação potássica no girassol 45
4.3.1 Produtividade de grãos 45
4.3.2 Doses de Máxima Eficiência Econômica (MEE) 47
4.3.3 Determinação do Teor Crítico no solo em função das doses de Potássio 50
4.4 Recomendações preliminares de adubação NPK no girassol 54
4.5 Adaptação da cultura do girassol nas calibrações sob plantio direto no Paraguai.... 58
5 CONCLUSÕES 61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 62
7. ANEXOS 69

1. INTRODUÇÃO

A superfície agrícola na Região Oriental do Paraguai cresceu consideravelmente nos últimos anos, principalmente devido à expansão da produção da soja que alcançou os 2,5 milhões de hectare, aumento este motivado pelo alto preço da soja e pela produtividade apresentada em safras anteriores. Por causa disso, aumentou o problema da monocultura no verão, diminuindo a importância da rotação de culturas e da diversificação, implicando um elevado risco na produção e renda das propriedades agrícolas.

A rotação de culturas constitui-se na alternância regular de diferentes culturas em uma mesma área, com vantagens na diversificação da renda na propriedade agrícola, no aumento e estabilização da produtividade das espécies, na manutenção e melhoria da fertilidade do solo, na diminuição da incidência de doenças, pragas e plantas daninhas, na redução das perdas do solo pela erosão, mo melhor aproveitamento do parque de máquinas e da mão de obra disponível na propriedade e sobre tudo viabilizar o sistema plantio direto (Santos et al, 2001).

Para fazer uma boa rotação das culturas é necessário um planejamento adequado, tendo em conta as espécies a utilizar e seus requerimentos nutricionais, a carência e a necessidade de ter recomendações adaptadas às condições edafoclimáticas das culturas sob plantio direto.

No ano de 2003, devido à importância da fertilidade do solo e a necessidade de ter recomendações de fertilização das principais culturas adaptadas às diversas regiões produtivas do Paraguai em Plantio Direto, a Câmara Paraguaia de Exportadores de Cereais e Oleaginosas (CAPECO) financiou um projeto da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), por intermédio de um convênio, cujos principais objetivos são a padronização de métodos e procedimentos nos laboratórios de análises de solo para o Paraguai, estabelecimento de uma Rede de Laboratórios no Paraguai e um programa de controle de qualidade, implantação de experimentos a campo, visando à calibração das recomendações de adubação nitrogenada, fosfatada e potássica (NPK) em sistema plantio direto para as culturas do trigo, soja e milho e elaboração de um boletim técnico para recomendação de adubação sob sistema plantio direto, com base nos resultados obtidos nos experimentos de calibração, incentivar a adoção e o aprimoramento do sistema plantio direto no Paraguai.

No ano de 2006, foi adicionada no projeto a cultura do girassol, visando obter recomendações em NPK sob plantio direto, principalmente por ter demonstrado grande

aceitação pelos produtores agrícolas do Paraguai nos últimos anos, resultando neste trabalho de pesquisa.

Castro et al. (1993) descrevem o girassol como uma oleaginosa que tem ampla adaptabilidade às diferentes condições edafoclimáticas, pois seu rendimento é pouco influenciado pela latitude, altitude e foto período.

Graças a essas propriedades, apresenta-se opção para os sistemas de rotação de culturas, podendo entrar como mais uma alternativa para as regiões produtoras de grãos e pode contribuir significativamente para maior diversificação dos sistemas agrícolas da Região Oriental do Paraguai.

O girassol (Helianthus annuus L.) responde por cerca de 13% de todo óleo vegetal produzido no mundo e vem apresentando índices crescentes de produção e área plantada a nível mundial (Estados Unidos, 2005).

Na agricultura paraguaia a cultura do girassol, em termos de evolução cronológica, demonstrou um crescimento muito significativo na sua superfície e produção nos últimos anos. A área plantada com girassol no Paraguai apresentou certa estabilidade desde a safra 1996 (47 875 ha) até 2005 (45 000 ha). Somente nos últimos três anos houve um grande aumento na superfície, já que na safra 2006 as áreas registradas foram de 109 000 ha; aumentando 64 000 ha, e na safra 2007 verificou-se 155 000 ha; ocorrendo novamente a mesma tendência, com acréscimos de 46 000 ha. Em termos de produtividade média, nos últimos anos superou-se 1,5 toneladas por hectare de grãos produzidos.

A expansão dessa cultura é favorecida por sua maior tolerância ao estresse hídrico comparando com outras culturas como soja e milho (Castro et al., 1997).

O girassol extrai grandes quantidades de nitrogênio, fósforo e potássio do solo. Entretanto, grande parte destes nutrientes retorna ao solo após a colheita, através da decomposição dos resíduos (folhas, caule, capítulos e raízes). O período onde ocorre o maior crescimento da planta do girassol, que coincide com a maior taxa de absorção de nutrientes, é após a formação do botão floral até o final do florescimento. Segundo Sfredo et al. (1984), o girassol extrai e exporta 40% mais K do que as culturas da soja e do milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Agricultura no Paraguai

2.1.1. Evolução do Sistema Plantio Direto (SPD)

A introdução das culturas de soja, trigo e milho na década de 70 impulsionaram a expansão da mecanização agrícola intensiva na Região Oriental do Paraguai e, conseqüentemente, acelerou a degradação do meio ambiente. A lavração repetitiva dos solos no Sistema Convencional resultou em problemas, tais como erosão, compactação e contaminação das bacias hidrográficas. O manejo inadequado do solo, aliado à excessivas aplicações de pesticidas agrícolas refletiu-se na diminuição de produtividade, levando os produtores a preocuparem-se com a sustentabilidade na agricultura do Paraguai.

Na busca de alternativas para contornar tal situação, algumas medidas foram tomadas. Em 1976, um grupo de produtores paraguaios, em visita a propriedade do Sr Bartz na cidade de Rolandia - PR, o qual é considerado propulsor e um dos pioneiros do Sistema Plantio Direto (SPD) no Brasil, buscaram informações técnicas que pudessem ser adotadas no manejo e conservação do solo no Paraguai. A conscientização dos técnicos e produtores sobre os benefícios do SPD levou a um crescimento na adoção desta tecnologia. Assim, em 1977 foram importadas as primeiras máquinas de plantio direto, através da Cooperativa Colonias Unidas Agrícola Ltda, da Colonia Obligado, do Departamento de Itapúa.

Em 1991/92, a agricultura sob SPD alcançou 20.000 ha, com notáveis melhorias nas propriedades do solo, além de aumentos significativos na produtividade.

O Ministério de Agricultura e Ganaderia do Paraguai registrou no ano 1998/99 uma área de 790.000 ha sob SPD, o que representa 52 % da superfície agrícola, indicando a alta adoção por parte dos produtores. Atualmente a área agrícola do país supera 2.500.000 de hectares, e se estima que existam aproximadamente 1.900.000 ha que se encontram sob Plantio Direto, devido, principalmente, pela expansão do cultivo de soja, impulsionado pela elevação dos preços e sua alta produtividade apresentado em alguns anos (JANSEN, 1999).

2.1.2. Histórico de Recomendações de Fertilização no Paraguai

A pesquisa sobre recomendação de fertilização no Paraguai é mais recente quando comparado com o Rio Grande do Sul, o qual é considerado um Estado avançado nesta área no Brasil, onde os primeiros trabalhos relatados são desde a década de 60 (MIELNICZUK et al., 1969). Os mesmos têm sido corrigidos e modificados ao longo dos anos (PATELLA, 1972) (UNIVERSIDADE.., 1973) (MANUAL .. 1981) (SIQUEIRA et al., 1987) (COMISSÃO.., 1989, 1995 e 2004).

No Paraguai os primeiros trabalhos iniciaram na década de 90, com o lançamento de um guia para adubação de culturas anuais e perenes para a Região Oriental (FATECHA, 1999). Esse guia foi feito com base no sistema convencional de preparo do solo e visava à adubação da cultura (manutenção) sem calibrações de correção do solo. Outras formas de recomendação de adubação utilizadas no país provêm de diferentes locais do Brasil, como Paraná, Rio Grande do Sul/Santa Catarina, além da Argentina. Estas recomendações foram introduzidas nas regiões produtoras do Paraguai sem realização de uma pesquisa prévia, tornando duvidosa a sua validade.

Em outubro de 2002 foi realizado um Seminário-Taller, patrocinado pela Câmara Paraguaia de Exportadores de Cereais e Oleaginosas (CAPECO) e organizado por profissionais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM e da Universidade Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS), em conjunto com técnicos do Ministério da Agricultura, Cooperativas e laboratórios de solos. Nesse seminário foi constatado que os laboratórios utilizavam metodologias de análises químicas e unidades de medida diferentes, dificultando para os técnicos agrícolas a interpretação das análises, além de por em dúvida a credibilidade dos resultados. Além disso, a falta de informações sobre recomendações de fertilizantes para diferentes áreas de produção com base no SPD foi outro grande problema verificado.

Devido à similaridade nas condições edafoclimáticas, houve a possibilidade de transferência de uma grande parcela da experiência acumulada nos análises de solos e recomendação de fertilização sob SPD no Rio Grande do Sul e Santa Catarina para o Paraguai.

Em março de 2003 foi assinado um convênio entre a CAPECO e o Setor de Manejo e Conservação de Solos do Departamento de Solos da UFSM, o qual estabeleceria um novo capítulo nas recomendações de fertilizantes no Paraguai. Esse convênio foi criado com o

objetivo de buscar eficiência e qualidade nos resultados das análises do solo para a recomendação de fertilizantes, adaptados as mais diversas regiões produtivas do país.

Um dos trabalhos criados pelo convênio foi o RENALAS (Rede Nacional de Laboratórios de Solos), o qual visa à uniformização das unidades de medida e metodologias de análises químicas nos laboratórios. Também foram realizadas calibrações para a recomendação de fertilização NPK para as principais culturas de grãos sob SPD no Paraguai (soja, trigo, milho e a cultura de girassol adicionada no ano de 2006), resultando em três dissertações de mestrado e uma tese de doutorado na UFSM.

A recomendação para Nitrogênio (N) foi baseada no teor de matéria orgânica existente no solo. Para Fósforo (P) foram encontrados dois teores críticos no solo, sendo assim, dividiu-se em duas classes de acordo com o tipo de textura: Classe 1 = mais de 400 mg kg $^{-1}$ de argila (Figura 1) e Classe 2 menos de 400 mg kg $^{-1}$ de argila. Para Potássio (K) (Figura 2), a recomendação é realizada de acordo com o teor disponível no solo. Os nutrientes P e K estão enquadrados em faixas de disponibilidade, classificadas em muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, conforme o teor crítico do nutriente no solo.

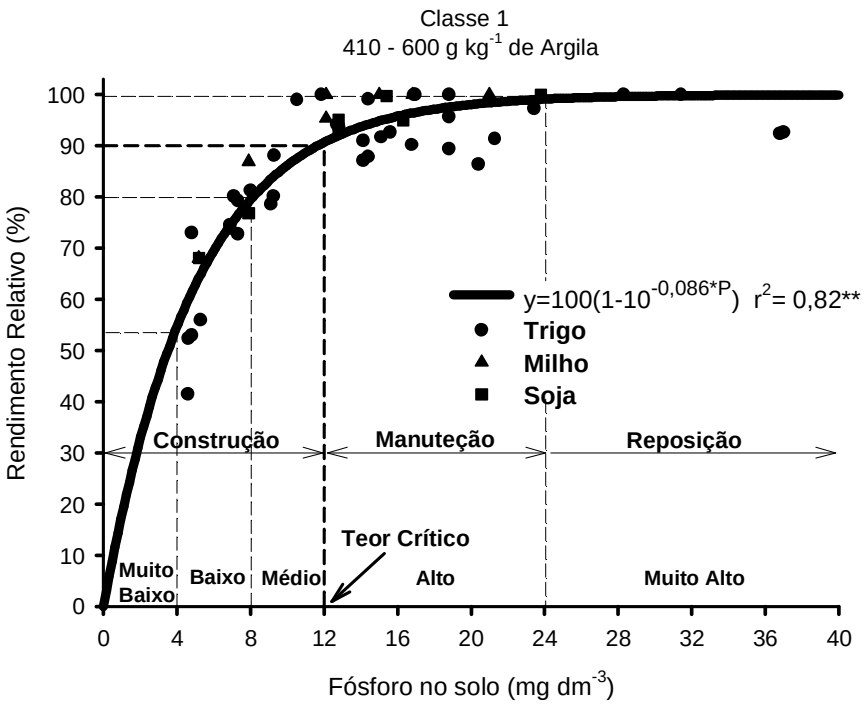


Figura 1 – Teor crítico de fósforo no solo (Classe 1), determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob Sistema Plantio Direto no Paraguai. Fonte: Cubilla (2005).

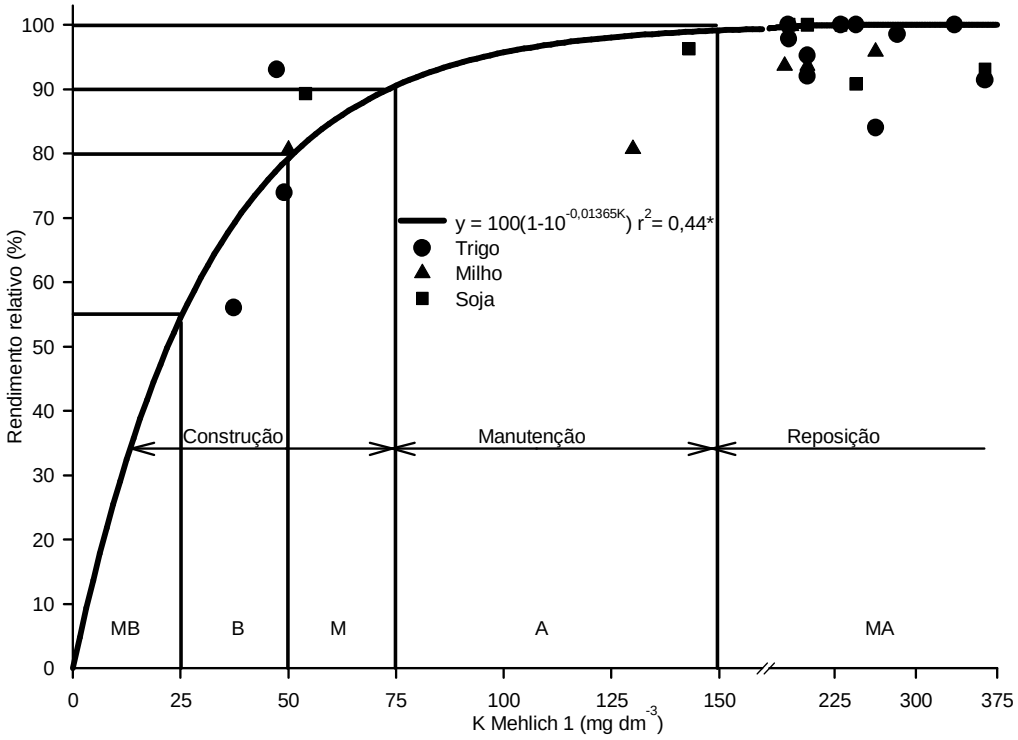


Figura 2 – Relação entre K extraído pela solução Mehlich -1 e o rendimento relativo obtido com trigo, milho e soja sob plantio direto, teor crítico e faixas de fertilidade para potássio sob plantio direto no Paraguai.

Fonte: Wendling (2005).

As recomendações de fertilização para o Paraguai foram feitas de acordo com as novas modificações na última recomendação publicada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo do RS/SC (2004), intitulado Manual de Adubação e Calagem para os Estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina, com respeito a um novo critério para definir a dose de adubação, sendo assim, o conceito de correção passa a ser adubar o solo e o de manutenção adubar a cultura. A adubação de correção pode ser feita em diferentes aplicações, sendo adicionada uma dose de manutenção que difere para cada cultura, considerando uma margem para possíveis perdas. A adubação de reposição é usada somente quando o teor está muito alto, que é só a absorção da cultura, sem considerar as perdas do sistema solo-planta.

2.1.3. Principais culturas na Região Oriental

Na Região Oriental do Paraguai existe uma diversificada produção agrícola. Dentre os cultivos anuais mais importantes está a soja, a qual ocupa uma área superior aos 2.400.000 hectares (CAPECO, 2007). A cultura é cultivada em larga escala no território paraguaio (Figura 3) representando 32 % da área nos Departamentos de Alto Paraná, 21 % em Itapúa e 20 % em Canindeyu. Nos últimos 12 anos, apresentou um aumento significativo da sua área ocupada em cerca de 1.500.000 ha, a qual passou de 962.000 ha na safra 1996, para 2.429.794 ha na safra 2007 (Tabela 1). Dessa forma, a soja tornou-se a cultura de maior importância e o país economicamente dependente de sua produtividade, já que a agricultura é à base da economia do país.

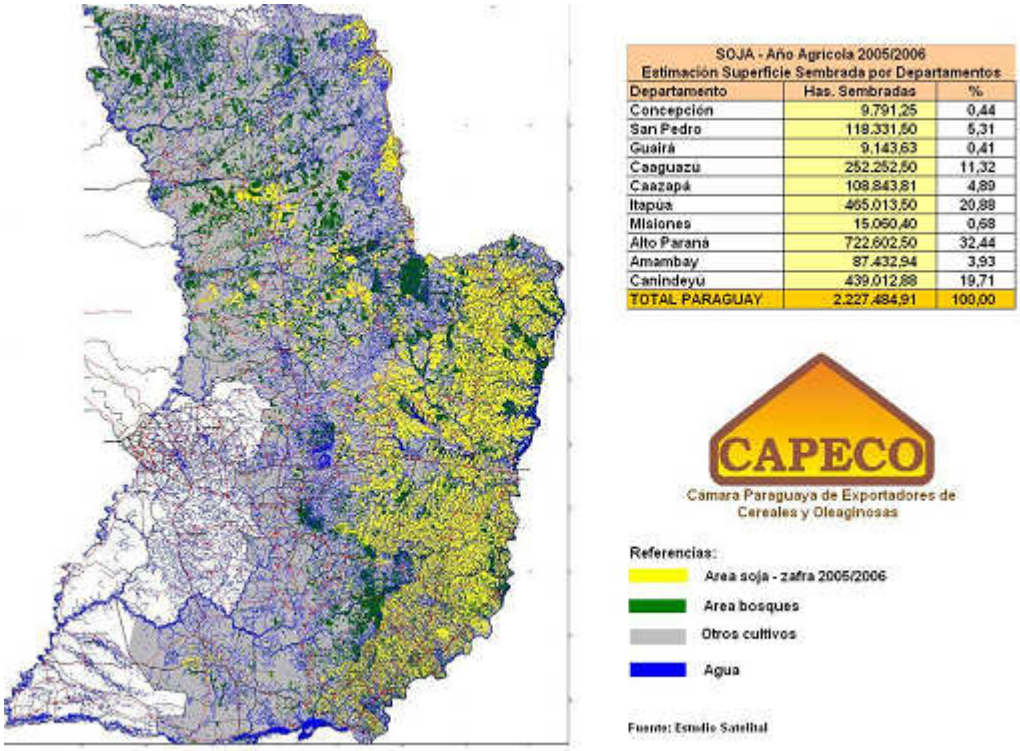


Figura 3 - Mapa da Região Oriental do Paraguai, com a superfície de soja cultivada na safra 2005/2006 e área semeada estimada por Departamento.

Fonte: Capeco, 2007.

Tabela 1 . Evoluções da área, produção e produtividade de soja no Paraguai.

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Produtividade (kg ha^{-1})
1996	960.000	2.408.428	2.509
1997	1.050.000	2.771.000	2.639
1998	1.150.000	2.988.201	2.598
1999	1.200.000	2.980.058	2.483
2000	1.200.000	2.911.423	2.426
2001	1.350.000	3.502.179	2.594
2002	1.445.000	3.546.674	2.454
2003	1.550.000	4.518.015	2.915
2004	1.936.600	3.911.415	2.020
2005	2.000.000	4.040.828	2.020
2006	2.227.484	3.641.186	1.635
2007	2.429.794	5.855.804	2.410

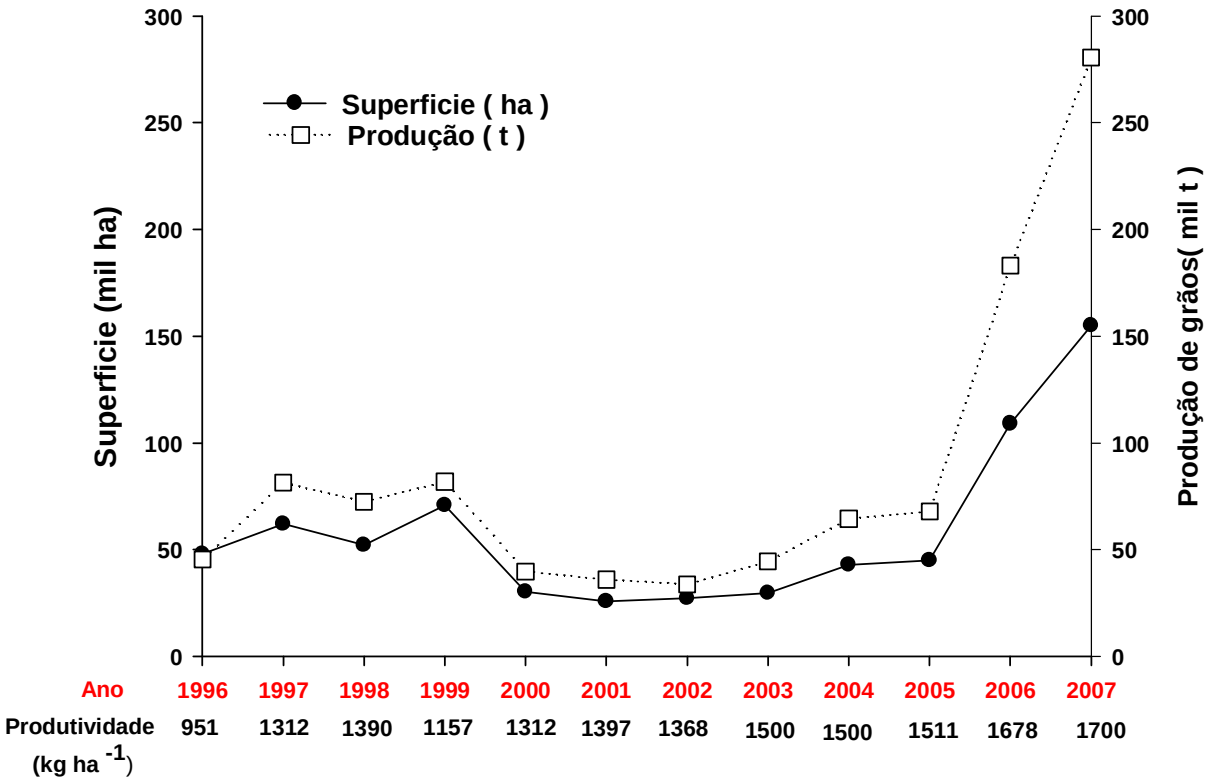
Fonte: Capeco (2007) e MAG (2007).

Segundo dados do Ministério de Agricultura e Ganaderia do Paraguai (2007), destacam as culturas do milho, com 430.000 ha, trigo com 365.000 ha, mandioca com 306.000 ha, algodão com 180.000 ha, e girassol 150.000 ha. Ainda, se cultivam outras lavouras em menor escala, tais como o feijão com 85 000 ha, cana-de-açúcar com 82.000 ha, amendoim com 37 000 ha, sésamo com 78.000 ha, arroz irrigado com 31.000 ha, canola com 72 000 ha, tartago com 9.000 ha e fumo com 8.200 ha. Entre os cultivos perenes se destacam a produção de erva mate e tung.

2.1.4. A expansão da cultura do girassol no Paraguai

Na agricultura paraguaia a cultura do girassol, em termos de evolução cronológica, demonstrou um crescimento muito significativo em termos de área ocupada e produtividade (Figura 4). A área cultivada com girassol, no Paraguai, apresentou certa estabilidade desde a safra 1996 (47.875 ha) até 2005 (45.000 ha). Analisando somente os últimos três anos, percebemos um grande aumento na superfície plantada, ou seja, na safra 2006 a área ocupada era de 109.000 ha e na safra 2007, verificamos a mesma tendência, o qual apresentou acréscimo de 46.000 ha, passando assim, a ocupar uma área de 155 000 ha.

A produtividade também demonstrou variação ao longo do tempo, com aumentos significativos devido, principalmente, ao melhoramento genético, ao manejo do cultivo e capacitação e experiência dos produtores de girassol. Na safra 1996, a produção de girassol não atingia 1.000 kg ha^{-1}, porém nas últimas cinco safras (2003-2007) verificou-se uma produção superior a 1.500 kg ha^{-1}.



Fonte: Adaptado de Capeco (2007) e MAG (2007).

Figura 4. Evoluções da superfície em hectare, produção em toneladas e produtividade de girassol no Paraguai.

Segundo dados relatados por técnicos da Cooperativa Colônias Unidas do Departamento do Itapúa, a produtividade da soja apresentou um decréscimo nos últimos anos (2004, 2005 e 2006), devido à influência climática, não atingindo 2 t ha^{-1}, considerando que em anos anteriores já se tinha superado essa média. Essa situação atingiu economicamente os monocultores de soja, entretanto, alguns sócios produtores que utilizavam estratégias de rotação de culturas não foram afetados, sendo, dessa forma, compensados pelas culturas de milho, sorgo e girassol.

A cultura do girassol é uma opção nos sistemas de rotação e sucessão de culturas nas regiões produtoras de grãos, pois possui características agronômicas importantes, como maior resistência a seca, ao frio e ao calor do que a maioria das espécies normalmente cultivadas. Apresenta ampla adaptabilidade as diferentes condições edafoclimáticas, e seu rendimento é pouco influenciado pela latitude, altitude e pelo fotoperiodismo (CASTRO et al., 1997).

Na safra 2005, os produtores de girassol no Departamento de Itapúa obtiveram uma produtividade considerada satisfatória. A Cooperativa Colônias Unidas verificou uma média aproximada de 2 t ha^{-1}em 3.957 ha cultivados com girassol, sendo que alguns produtores que utilizaram o SPD e rotação das culturas alcançaram uma produtividade média de 2,8 t ha^{-1}, indicando a importância da diversificação nas propriedades, além do baixo custo de produção comparado à soja.

Um experimento realizado pelos técnicos agrícolas da Cooperativa Colônias Unidas (2005) para a avaliação da produtividade de diferentes híbridos existentes no mercado agrícola paraguaio observou que principalmente os cultivares MG 50 (3187 kg ha^{-1}); DK 3920 (3125 kg ha^{-1}); MG 2 (2963 kg ha^{-1}) apresentaram elevada produtividade, demonstrando a importância da cultura na produção de grãos (CORREA, 2005).

A expansão da cultura do girassol verificada nos últimos três anos no Paraguai é decorrente principalmente devido ao preço atual no mercado mundial, resultando em maior retorno financeiro ao produtor. Além disso, o girassol não apresenta grandes inconvenientes no seu manejo e se adapta as mais variadas condições edafoclimáticas das regiões produtoras de grãos do país, tornando-se uma boa alternativa na rotação de culturas, podendo, assim, mitigar o problema da monocultura de soja no verão.

2.2. A cultura do Girassol

2.2.1. Características Gerais

O girassol *(Helianthus annuus L.*) é uma planta dicotiledônea anual, ordem Asterales, família Asteraceae, subfamília Asteroideae e tribo Heliantheae. Originária da América do Norte. Atualmente está sendo cultivada nos cinco continentes, atingindo uma área de aproximadamente 23 milhões de hectares.

A planta de girassol apresenta sistema radicular com raiz principal pivotante e inflorescência conhecida como capítulo, cuja forma pode variar de côncavo a convexo, e o caule pode apresentar diferentes curvaturas que são expressas na maturação (CASTIGLIONI et al., 1994).

Destaca-se a nível mundial como a quinta oleaginosa em produção de matéria prima, ficando atrás somente da soja, colza, algodão e amendoim, quarta oleaginosa em produção de farelo depois da soja, colza e algodão e terceira em produção mundial de óleo, depois da soja e colza. Os maiores produtores de grãos são a Rússia, Ucrânia, União Européia e Argentina (LAZZAROTTO et al., 2005; ESTADOS UNIDOS, 2005).

O girassol apresenta elevada importância, pois produz óleo de boa qualidade e alto valor nutricional como alimento funcional tanto para a alimentação humana, quanto de ruminantes, suínos e aves e, além disso, pode ser utilizada para silagem como opção forrageira. Atualmente, está despertando grande interesse a nível mundial, pois representa uma nova alternativa de mercado para a produção de matéria-prima para obtenção de biocombustíveis, em função do elevado teor de óleo nos aquênios e de sua ampla adaptação as diferentes regiões edafoclimáticas.

2.2.2. Fases de desenvolvimento da planta de girassol

É conveniente adotar uma escala de identificação das fases fenológicas separadas por estádios, já que o desenvolvimento do girassol entre a semeadura e a maturação fisiológica é uma seqüência de alterações morfológicas e fisiológicas na planta. Estas fases são de grande utilidade, porque muitas práticas culturais requerem o conhecimento de uma parte específica para seu melhor emprego, como aplicação de adubação de cobertura, de produtos químicos,

ou a coleta da folhas para análise de tecido para serem executadas corretamente (CASTIGLIONI et al., 1994; CASTRO & BOUÇAS FARIAS, 2005).

A escala mais adotada e utilizada para publicações sobre o cultivo nas regiões produtoras de girassol na América do Sul (Argentina, Brasil e Paraguai) é a escala proposta por Schneiter & Miller (1981) (Figura 5), em que o desenvolvimento da planta é dividido em duas etapas: Vegetativa (V) e Reprodutiva (R).

Emergência	Nº de folhas maiores que 4 cm			Desenvolvimento da inflorescência				Floração		Enchimento de Aquênios		Maturação fisiológica
VE	V1	V2	VN	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Fase Vegetativa				Fase reprodutiva								

Figura 5. Descrição esquemática das fases de desenvolvimento do girassol, adaptado de SCHNEITER & MILLER (1981).

A fase vegetativa começa com a emergência de plântulas (VE) e termina com o início do aparecimento da inflorescência (botão floral). Após a emergência, as fases são definidas em função do número de folhas com o mínimo de 4 cm de comprimento, começando com V1, V2, VN. Vários fatores podem ocasionar perdas de folhas como seca, pragas, doenças, entre outros, dessa forma, para a determinação das fases deve-se contar também as folhas ausentes.

A fase reprodutiva começa com o aparecimento da inflorescência (botão floral) e termina com a maturação da planta (R1 até R9).

Fases do desenvolvimento do girassol:

- R1, a inflorescência circundada pela bráctea imatura torna-se visível;
- R2, o internódio abaixo da base da inflorescência alonga-se de 0,5 a 2,0 cm acima da folha mais próxima da inflorescência, inserida no caule;
- R3, o internódio abaixo do botão floral continua a se alongar, distendendo-se mais de 2,0 cm acima da folha mais próxima da inflorescência;
- R4 a inflorescência começa a abrir, no momento que pequenas flores liguladas são visíveis e amarelas;
- R5 ocorre o início da antese. As flores liguladas estão completamente expandidas e todos os discos das flores são visíveis. Esta fase pode ser dividida em subfases:

R5.5, quando 50% das flores do disco estão fertilizadas ou em antese; R5.8, quando 80% das flores do disco estão fertilizadas ou em antese.

- R6, a antese esta completa e as flores liguladas perderam a turgidez e estão murchando;
- R7, o dorso do capitulo torna-se amarelo-claro, começando pelo centro;
- R8, o dorso do capitulo torna-se amarelo, porém as brácteas permanecem verdes. Alguns pontos castanhos podem aparecer.
- R9, as brácteas adquirem a coloração entre amarela a castanha. Nesse ponto, grande parte do dorso do capítulo torna-se castanho. Ocorre a maturação fisiológica.

2.2.3. Requerimentos Nutricionais para a cultura do Girassol

Diversos fatores influenciam na absorção e na disponibilidade de nutrientes do solo, ou seja, a capacidade de exploração do sistema radicular da planta, as propriedades do solo e seu manejo, as condições climáticas, e a disponibilidade de água são aspectos fundamentais para se obter uma planta bem nutrida.

A quantidade de água requerida pela cultura ainda não está bem definida, mas na maioria dos casos 400 a 500 mm de água bem distribuídos ao longo do ciclo, resultam em rendimentos próximos ao potencial máximo (UNGER, 1990; CASTRO & BOUÇAS FARIAS, 2005).

A exigência nutricional da cultura de girassol varia em função da fase de desenvolvimento em que se encontra. Na fase vegetativa, ou seja, ciclo inicial de desenvolvimento com até 30 dias após a emergência (DAE), o girassol necessita de pouca quantidade de nutrientes. Castro & Oliveira (2005) verificaram que a maior absorção de nutrientes e água e, conseqüentemente, maior desenvolvimento ocorre a partir desse momento até o florescimento pleno, fase R 5.5. Segundo Hooking & Steer (1983) este período é bastante importante na definição do potencial produtivo das plantas.

Dos 28 aos 56 dias DAE existe um rápido aumento na exigência nutricional. Nas fases de florescimento e início do enchimento de aquênios (R5, R6 e R7) entre os 56 e 84 dias ocorre uma diminuição gradativa na velocidade de absorção de nutrientes quando se alcança o nível máximo de acúmulo em quantidades variáveis para cada nutriente (CASTRO & OLIVEIRA, 2005). Observa-se que o girassol acumula um total de 41 kg de N; 17,1 kg de P_2O_5 e 171 kg de K_2O para produzir uma tonelada de grãos (Tabela 2).

Finalmente, o período que se estende até o final do enchimento de aquênios, é caracterizado por translocação intensa, principalmente de nitrogênio e fósforo dos órgãos vegetativos para os reprodutivos, demonstrando uma alta exportação, a qual é de aproximadamente 56 a 70 % do total acumulado. Para o potássio apenas uma quantidade pequena é acumulada nos aquênios e exportada 7 % do total absorvido pela planta, mas precisa concentrações elevadas no caule e no capítulo para obter um bom desenvolvimento. Outros nutrientes como cálcio e boro também apresentam taxas de exportação reduzidas (CASTRO & OLIVEIRA, 2005).

Trabalhos de diversos autores (TREZZI et al., 1994 e UNGARO et al., 2000) demonstraram que o girassol é uma cultura que melhora a qualidade do solo, promovendo a ciclagem de nutrientes mediante a mineralização dos restos culturais ao longo do perfil, beneficiando, dessa forma, o desenvolvimento e a melhoria do estado nutricional das culturas subseqüentes, representando uma boa alternativa para rotação de culturas.

Tabela 2 - Exportação de nutrientes e quantidade absorvida de macronutrientes pela cultura do girassol, para a produção de 1000 kg de grãos.

Partes da Planta	N	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg	S
				kg t^{-1}		
Grãos	23	12	12	1,6	2,5	2,2
Restos Culturais	18	5,1	159	37,9	8,7	6,6
Total	41	17,1	171	39,5	11,2	8,8
Exportada(%)	56	70	7	4	23	25

Fonte: Adaptado de Castro & Oliveira (2005) e Blamey et al (1997).

2.2.4. Exigências de fertilizantes e adubação NPK na cultura de girassol

O girassol acumula grandes quantidades de nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio, porém sua resposta à adubação é limitada. Seu sistema radicular profundo proporciona maior exploração e auxilia no melhor aproveitamento da fertilidade natural dos solos e das adubações dos cultivos anteriores, absorvendo nutrientes das camadas mais profundas. Entretanto, grande parte destes nutrientes retorna ao solo, após a colheita, através

da palhada (folhas, caule, capítulos), além das raízes que ajudam as culturas que sucedem o girassol (CASTRO et al. 1997).

Conforme alguns trabalhos realizados para determinar as necessidades adequadas de N, P, e K nos estados produtores de girassol do Brasil, na maioria dos experimentos, observaram-se que as máximas produtividades foram alcançadas com quantidades de nutrientes inferiores as recomendadas para outras culturas, como a soja (CORREÇÃO, 2004), o milho (COELHO et al., 2005) e o trigo (CALAGEM, 2005).

2.2.4.1. Nitrogênio (N)

No sistema solo-planta, o nitrogênio mineral é absorvido nas formas de nitrato ou amônio, o qual entra em contato com as raízes das plantas preferencialmente pelo fluxo de massa (MALAVOLTA et al., 1997).

No solo, o nitrogênio apresenta diversas formas orgânicas e inorgânicas que estão dinamicamente equilibradas por meio do ciclo do N, o qual é bastante complexo. O nitrogênio pode se incorporar no sistema solo-planta a partir dos restos culturais, por processos de fixação biológica, adubação com fertilizantes industriais e também por precipitação induzida por descargas elétricas (RAIJ, 1991).

O N é o constituinte de aminoácidos e nucleotídeos, e o principal nutriente para a obtenção de produtividades elevadas em culturas anuais. Nas oleaginosas, o nitrogênio determina o equilíbrio nos teores de proteínas acumuladas e produção de óleo, já que influencia o metabolismo de síntese de compostos de reserva nas sementes. Quando adubado com N em grandes quantidades, eleva os teores do nutriente nos tecidos e reduz a síntese de óleos, favorecendo a rota metabólica de acúmulo de proteínas nos aquênios (CASTRO et al 1999).

Para a cultura do girassol, o nitrogênio é o segundo nutriente mais requerido, o qual absorve 41 kg de N por 1000 kg de grãos produzidos, podendo ser tanto a partir da adubação quanto através de restos culturais, exportando 56 % do total absorvido (CASTRO & OLIVEIRA, 2005). Entretanto, Blamey et al. (1997) argumenta que o nitrogênio é o maior limitante nutricional na produtividade do girassol, proporcionando redução de até 60 % de seu potencial de produção em decorrência da sua deficiência.

Avaliações experimentais indicam que com 40 a 50 kg ha^{-1} de N, obtém-se 90% da produção relativa máxima, o qual corresponde à quantidade do nutriente economicamente mais eficiente. Também se verificou que com 80 a 90 kg ha^{-1} de N é alcançada a produção máxima do girassol (SMIDERLE et al., 2002; SMIDERLE et al., 2004; CASTRO et al., 2004).

Para o Estado de Minas Gerais recomenda-se a aplicação de 60 kg ha^{-1} de N, sendo aplicado 1/3 na adubação de base e 2/3 na cobertura (COMISSÃO, 1989). Recomendações nitrogenadas para a cultura de girassol no Estado de São Paulo indicam aplicações de 50 kg ha^{-1} de N, distribuídas 10 kg ha^{-1} em base e 40 kg ha^{-1} de N em cobertura (QUAGGIO & UNGARO, 1997).

O excesso de nitrogênio provoca crescimento excessivo do girassol, tornando as folhas mais sensíveis, favorecendo assim a incidência de doenças e pragas no cultivo, além de problemas com acamamento (VRANCEANU, 1977).

2.2.4.2. Fósforo (P)

O fósforo disponível às plantas é encontrado em baixas concentrações na solução do solo, isto ocorre devido ao nível de acidez dos solos onde são cultivadas as principais culturas, os quais apresentam as maiores taxas de fixação de fósforo variáveis de acordo com a quantidade e mineralogia das argilas, sendo intensificadas em solos com predominância de Fe e Al (RAIJ, 1991).

A forma predominante do nutriente é como íon fosfato ($H_2PO_4^-$), a fase sólida apresenta formas orgânicas e inorgânicas, divididas em fase lábil e não-lábil.

O contato do íon fosfato nas raízes ocorre, preferencialmente, por difusão, razão pela qual a absorção do nutriente depende do volume de solo explorado pelas raízes. Absorvida na planta, o fosfato é incorporado em compostos orgânicos incluindo açúcares fosfatados, fosfolipídios e nucleotídeos. Seu principal ponto de entrada é via assimilação e ocorre durante a formação de ATP, sendo esta a molécula de energia da célula (MALAVOLTA et al., 1997).

No girassol a absorção do fósforo ocorre até o enchimento de aquênios, isto quando não há limitação da disponibilidade do nutriente. A contribuição do fósforo remobilizado das folhas e caule para os aquênios em maturação varia de, aproximadamente, 30% a 60 % (HOOCKING & STEER, 1983).

Em condições de déficit hídrico, a absorção do nutriente e o seu suprimento podem ser afetados severamente, provocando a remobilização e translocação do P das partes velhas para

as partes jovens da planta. O fósforo é um nutriente móvel no floema, e se redistribui rapidamente, em especial aos tecidos novos em desenvolvimento, vegetativo ou reprodutivo, que trabalham como drenos preferenciais da planta (MALAVOLTA, 1980).

Segundo Blamey et al. (1997), a diagnose foliar é o melhor método para avaliar a deficiência do nutriente, o mesmo ocorre nas folhas da parte inferior das plantas, devido a grande mobilidade do fósforo na planta. Fazer um diagnóstico correto é difícil, pois os sintomas de deficiência de fósforo podem ser confundidos com aqueles causados por algumas doenças como a *Alternaria helianthi*.

Conjuntamente com o enxofre, apresentam as menores taxas de acúmulo nas plantas de girassol, comparando com os demais macronutrientes. O fósforo é o nutriente mais exportado pelo aquênios (Tabela 2).

Trabalhos experimentais avaliando respostas de adubação fosfatada no Brasil foram feitos em diversas condições edafoclimáticas, demonstrando a importância deste nutriente na produtividade do girassol. No Estado de São Paulo, Quaggio & Ungaro (1997) indicam a aplicação de 20 a 70 kg ha^{-1} de P_2O_5, dependendo do teor de P do solo. Para o Estado de Paraná, as melhores produtividades foram alcançadas em solos de textura argilosa com teores médios a altos de fósforo, em torno de 6,0 mg dm^{-3}, obtidos com o extrator Mehlich 1. As melhores respostas do girassol foram obtidas com os níveis de P variando de 40 a 80 kg ha^{-1} P_20_5 (CASTRO et al., 1993). Já para Minas Gerais, a recomendação de P para a cultura do girassol varia de 30 a 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 em função do teor do nutriente no solo (COMISSÃO, 1989).

Quando se avalia a disponibilidade de fósforo para as plantas através da análise de solo com extratores ácidos como o Mehlich-1, deve-se levar em consideração a quantidade de argila, uma vez que ela usada como indicador da capacidade de fixação de fósforo do solo, determinando classes de interpretação para cada tipo de textura.

No Brasil não há uma classificação específica de nutrientes para o cultivo do girassol, adota-se valores de referência regional utilizados para culturas de verão (milho e soja). Assim, a adubação mínima de exportação de P para a produção de 2.000 kg ha^{-1} em solos com alto teor de fósforo é de 30 kg ha^{-1} de P_2O_5, podendo ser de até 80 kg ha^{-1} nos solos com disponibilidade muito baixa (CASTRO & OLIVEIRA, 2005).

2.2.4.3. Potássio (K)

O potássio disponível para as plantas encontra-se como íon K^+ presente na solução do solo e no complexo de troca (RAIJ, 1991). O contato com as raízes ocorre preferencialmente por difusão e fluxo de massa, dessa forma, a nutrição potássica está diretamente relacionada com a disponibilidade de água às plantas. Participa de um grande número de processos biológicos da planta e apresenta alta mobilidade, sendo translocado das partes velhas para as partes jovens, durante o processo de senescência natural ou induzida (MALAVOLTA, 1997).

A baixa disponibilidade de potássio no solo pode causar redução da produtividade e diminuição gradativa na taxa de crescimento das plantas. Quando a deficiência é mais severa, os sintomas se iniciam com mosqueado amarelado nas bordas das folhas da parte inferior da planta, essas áreas cloróticas avançam para o centro das folhas, tornando-se necrótica nas bordas, perdendo rigidez na planta e prostrando-se facilmente em casos mais severos (CASTRO & OLIVEIRA, 2005).

A perda do íon K^+ por lixiviação no perfil quando são feitas adubações corretivas merecem um atendimento especial, principalmente em solos de textura média a arenosa. Também a correção da acidez é fundamental para elevar a eficiência de utilização dos fertilizantes potássios, por aumentar a capacidade de retenção do nutriente no complexo de troca, limitando este processo de lixiviação e perda do nutriente nos solos de textura arenosa (CASTRO & OLIVEIRA, 2005).

Para uma boa produção de girassol, a disponibilidade de potássio deve ser média a alta devido à elevada demanda para cada tonelada de grão produzido, em torno de 171 kg ha^{-1} de K_2O na parte aérea. A quantidade exportada através dos aquênios na colheita é baixa, em torno de 12 kg ha^{-1} de K_2O por tonelada produzida (Tabela 2).

A capacidade de acúmulo de potássio nas camadas superficiais do solo varia, principalmente em função da capacidade de troca catiônica (CTC). Estudos realizados em solos argilosos no Estado do Paraná, onde a CTC varia de 12 a 14 $cmol_c$ dm^3 e em solos de textura média com variação da CTC de 5 a 6 $cmol_c$ dm^3, mostraram ser fundamentais para explicar a movimentação de K no perfil do solo e também um fator importante para adoção de estratégias adequadas para cada situação e ambiente em relação ao manejo do potássio no solo.

Também no Paraná, experimentos realizados em Latossolo Vermelho eutroférrico e distroférrico com teor menor que 47 mg kg^{-1} de K no solo, determinaram baixa

disponibilidade e absorção de potássio pelo cultivo de girassol, o qual apresentou baixa concentração de K nas folhas, em torno de 18,8 g kg^{-1}. Nessas condições foram evidenciados sintomas de deficiência típica do nutriente e queda da produtividade (BORKERT et al., 1997).

Segundo Castro et al. (1993), teores de potássio em torno de 78 mg kg^{-1} em solos argilosos e aplicações com níveis de adubação variando entre 40 e 80 kg ha^{-1}, resultaram em maior produtividade, dependendo da disponibilidade de água, da profundidade do solo explorado, e dos teores de potássio nas folhas, os quais variaram de 35 a 45 mg kg^{-1} nessas condições.

O Manual de Adubação e de Calagem para os Estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina apresentam uma recomendação que é realizada de acordo com os teores deste nutriente disponíveis no solo, enquadrados em faixas de disponibilidade. Para os teores de baixo e alto as recomendações variam de 30 a 70 kg ha^{-1} de K_2O para expectativa de produtividade de 2 t ha^{-1} (Comissão, 2004).

Para o Estado de Minas Gerais, também se recomenda entre 30 a 70 kg ha^{-1} de K_2O, dependendo da faixa de disponibilidade de K na análise do solo (Comissão, 1989).

Quaggio & Ungaro (1997) recomendam, dependendo do teor do K na análise de solo, a aplicação de 20 até 60 kg ha^{-1} de K_2O para o Estado de São Paulo.

Castro & Oliveira (2005) verificaram em um Latossolo muito argiloso no Paraná, pouco incremento de produtividade do girassol em solo com quantidade de potássio acima do nível crítico, em torno de 70 mg kg^{-1}, para atingir 90 % da produtividade relativa máxima. Já, para a cultura da soja, o nível médio de disponibilidade de K é em torno de 78 mg kg^{-1} (EMBRAPA, 2004). Dessa forma, o nível crítico no solo, tanto para a soja quanto para o girassol, são aproximados a nível regional. Sendo assim, a interpretação da disponibilidade de potássio e as recomendações para a cultura do girassol podem ser orientadas pelos limites estabelecidos para a soja, para a determinação das classes de baixa a média disponibilidade de K no solo.

As recomendações para a cultura do girassol podem variar de 40 a 80 kg ha^{-1} de K_20. Quando se apresentam solos com disponibilidade alta do nutriente utiliza-se uma adubação de manutenção, considerando uma exportação de 10 a 12 kg de K_2O para cada 1000 kg de grãos produzidos (CASTRO & OLIVEIRA, 2005).

2.3. Hipóteses

a) Existe efeito da adubação nitrogenada, fosfatada e potássica no rendimento de grãos de girassol, sob sistema plantio direto.

b) Os teores críticos de fósforo e potássio no solo para o girassol são semelhantes aos encontradas para milho, soja e trigo sob plantio direto no Paraguai.

c) A classe textural diferenciada dos solos de Misiones e Itapúa influencia no rendimento de grãos na cultura do girassol e no teor crítico no solo de fósforo e potássio.

2.4. Objetivos

2.4.1 Objetivo geral

Elaborar uma primeira recomendação de fertilização NPK para girassol sob sistema plantio direto no Paraguai.

2.4.2 Objetivos específicos

a) Estabelecer teores críticos para fósforo e potássio no solo em diferentes classes texturais para a cultura do girassol.

b) Adicionar a cultura do girassol como opção dentro do sistema de recomendação de adubação do solo, para culturas de grãos em sucessão, sob sistema plantio direto no Paraguai.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição Geral

O Paraguai ocupa uma posição mediterrânea no centro Sul do Continente, com uma superfície territorial pequena com relação aos países vizinhos. Com 406.792 Km^2 de superfície, das quais 39,3% correspondem à Região Oriental, com 159.827 Km^2. O restante da superfície (60,7%) corresponde a Região Ocidental ou Chaco Boreal.

A Região Oriental encontra-se entre os paralelos 22º 05’ e 27º 30’ latitude Sul e os meridianos 54º 15’ e 58º 38’ longitude Oeste. É rodeada por dois grandes rios: o Paraná, ao Leste e Sul, servindo como limite natural com o Brasil e a Argentina, e o Paraguai, ao Oeste, que serve como limite natural com a Região Ocidental e ao Norte da República Argentina.

A Região se caracteriza por uma secção de terrenos declivosos, com pendentes suaves a pronunciadas (4 a 15%), que drenam naturalmente os vales e planícies dos numerosos cursos de águas que atravessam a região em distintas direções.

Existe um sistema central de serras, de superfície muito irregular, com relevo pronunciado, com amplitude de 150 a 600 metros e cotas variáveis de 250 a 840 metros acima do nível do mar, pendente abrupta (maior de 15%) e drenagem muito rápida. Este sistema de serras constitui a linha de divisão de águas das bacias dos rios Paraguai e Paraná. Os vales e as planícies constituem os campos baixos, inundados durante alguns meses do ano.

O clima da Região Oriental é classificado segundo Koeppen (1931) como Cfa: sub-tropical úmido, mesotérmico, com verões quentes e invernos com geadas ocasionais. Existe uma tendência que as chuvas se concentrem na primavera/verão, sem estação de seca definida. Por tanto, as precipitações diminuem a partir do outono, sendo o inverno, e particularmente o mês de julho, o período de menor registro de chuvas.

A precipitação média anual oscila entre 1.300 mm ao Oeste e 1.900 mm ao Leste da Região, a temperatura média mensal do ar é de 17 a 27 °C, com temperaturas médias mínimas de 15 °C e com temperaturas médias máximas de 30 °C. Nos meses do verão, a temperatura pode superar os 40 °C; nos meses de inverno pode-se registrar geadas importantes na maior parte da região, com temperaturas que chegam a –2°C.

3.2 Solo

Os solos produtivos da Região Oriental do país, são predominantemente argilosos, com alguns arenosos. A maioria dos solos argilosos pertencem às classes dos Argissolos (Ultisol e Alfisol) e Latossolos (Oxisol) originados de rochas basálticas, estes solos estão principalmente nos Departamentos de Alto Paraná e Itapúa. Os solos de Misiones são de origem arenítica e pertencem à classe dos Argisolos Vermelhos Amarelos (Ultisol) de textura franca fina (LÓPEZ et al., 1995).

3.3 Descrição dos experimentos

Foram conduzidos experimentos em dois departamentos produtores de girassol no país na safra 2006/2007, sendo um no departamento de Misiones e outro no departamento de Itapúa ao Sudeste da Região Oriental, em áreas experimentais ligadas aos sócios produtores da Cooperativa Colônias Unidas, visando obter recomendações de adubação em nitrogênio, fósforo e potássio .para o girassol

No Departamento de Misiones o solo predominante na região é o Ultisol (LÓPEZ et al., 1995), com terrenos suavemente ondulados e a vegetação predominante são os campos nativos que ultimamente são explorados para produção de grãos. Segundo levantamento de Fatecha (2004), o Departamento apresenta fertilidade média baixa, assim como o solo do distrito de San Ignacio, onde está localizado o experimento de Misiones. A cultura do girassol foi implantada sobre aveia preta na propriedade pertencente ao Senhor Luis Scholl, sócio produtor da Cooperativa Colônias Unidas, em área cultivada há vários anos sob plantio direto, seu uso anterior foi para pastoreio de gado. O solo do experimento de Misiones é de origem arenítica e pertencem à classe dos Argisolos Vermelhos Amarelos (Ultisol).

No Departamento de Itapúa o solo predominante na região é o Oxisol (López et al., 1995), com terrenos suavemente ondulados e a vegetação predominante de florestas tropicais, que em sua maioria forem eliminados para uso agrícola. Segundo levantamento de Fatecha (2004), o Departamento apresenta fertilidade média alta. O experimento de Itapúa, se localiza no Distrito de Bella Vista (Vacay km 9). A cultura do girassol foi implantada sobre milho, na propriedade pertencente ao Senhor Miguel Noguera, sócio produtor da Cooperativa Colônias

Unidas, o qual também é uma área cultivada há vários anos sob plantio direto. O solo do experimento de Itapúa é de origem basáltica e pertencem à classe dos Latossolos (Oxisol).

Os atributos quimicos nos solos dos experimentos de Misiones e Itapúa estam descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Características químicas iniciais no solo, Misiones e Itapúa, Paraguai, 2006.

Características químicas	Misiones	Itapúa
pH água 1:1	5,4	5,7
Cálcio (Ca)	2 $cmol_c$ dm^{-3}	6$cmol_c$ dm^{-3}
Magnésio (Mg)	0,7 $cmol_c$ dm^{-3}	0,8 $cmol_c$ dm^{-3}
Alumínio (Al)	0,2 $cmol_c$ dm^{-3}	0 $cmol_c$ dm^{-3}
CTC $_{efetiva}$	3,1 $cmol_c$ dm^{-3}	7,3 $cmol_c$ dm^{-3}
Saturação de Alumínio	6 %	0 %
Saturação de Bases	46 %	65 %
Matéria Orgânica, m/v	1,8 %	2,9 %
Argila, m/v	20 %	60 %
Fósforo Mehlich (P)	10,9 mg dm^{-3}	4,5 mg dm^{-3}
CTC $_{pH7}$	6,4 $cmol_c$ dm^{-3}	11,2 $cmol_c$ dm^{-3}
Potássio (K)	92 mg dm^{-3}	160 mg dm^{-3}

3.4 Tratamentos

Os tratamentos aplicados para a cultura do girassol consistiram de diferentes doses para cada nutriente em estudo:

Nitrogênio*: N (0, 25, 50, 75, 100, 125) kg ha^{-1}.

Fósforo**: P (0, 40, 80, 120, 160, 200) kg ha^{-1}.

Potássio***: K (0, 30, 60, 90, 120, 150) kg ha^{-1}.

* Nas parcelas de N aplicou-se em cada parcela 100 kg ha^{-1} de P e 80 kg ha^{-1} de K.
** Nas parcelas de P aplicou-se 70 kg ha^{-1} de N e 80 kg ha^{-1} de K.
*** Nas parcelas de K aplicou-se 70 kg ha^{-1} N e 100 kg ha^{-1} de P.

Figura 6. Semeadura do girassol sob Sistema Plantio Direto nos Experimentos Itapúa e Misiones (acima) e adubação (meio) de base e em cobertura realizada a lanço (meio); coleta de capítulos para medição de rendimento de grãos (esquerda abaixo) e de amostras do solo (direita abaixo), Paraguai, 2007.

3.5 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com 6 doses (tratamentos) para cada nutriente em estudo e 4 repetições (blocos), sendo implantado um experimento em cada Departamento (Itapúa e Misiones), com parcelas de 5 x 8 m.
A semeadura do girassol e as etapas de adubação e colheita são visualizadas na figura 6.

3.6 Condução dos experimentos

A época de semeadura, o cultivar utilizado, e a densidade de distribuição de sementes foram recomendados pelos técnicos agrícolas da Cooperativa Colônias Unidas, objetivando atingir uma máxima resposta na cultura do girassol, de acordo aos melhores resultados obtidos nas regiões dos experimentos.

Os experimentos foram conduzidos sob sistema plantio direto, a semeadura no Experimento Itapúa foi realizada o dia 29 de agosto de 2006, com uma semeadora Fankhauser 5030. O Experimento Misiones a semeadura foi realizada no dia 30 de agosto de 2006, com uma semeadora Baldam 5000. Nos dois experimentos o cultivar utilizado foi Morgan 50 e a calibração das semeadoras foi realizada com espaçamento de 60 cm entre linhas, buscando atingir um stand equivalente em 45 000 plantas por hectare e 2,7 plantas por metro linear.

As aplicações de nitrogênio (uréia), fósforo (superfosfato triplo) e potássio (cloreto de potássio), foram realizadas à lanço (Figura 6), para tal, as parcelas foram delimitadas nos quatro limites, definindo exatamente a área para a aplicação. A aplicação de nitrogênio foi 1/3 na semeadura, e em cobertura 45 dias depois 2/3 da dose de adubação nitrogenada. Para fósforo e potássio foi realizada adubação total na semeadura.

Nas parcelas de nitrogênio (0, 25, 50, 75, 100, 125) kg ha^{-1}; mantiveram-se constante as doses de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 80 kg ha^{-1} de K_2O em cada parcela.

Nas parcelas de fósforo (0, 40, 80, 120, 160, 200) kg ha^{-1}; aplicaram-se as doses 70 kg ha^{-1} de N e 80 kg ha^{-1} de K_2O em cada parcela.

Nas parcelas de potássio (0, 30, 60, 90, 120, 150) kg ha^{-1}; aplicaram-se 70 kg ha^{-1} N e 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 em cada parcela.

No Experimento de Itapúa, foram coletados os capítulos do girassol, como também coletadas amostras de solo depois da colheita em cada parcela do estudo em 11 de janeiro de

2007. No Experimento de Misiones foram realizadas amostragens no dia 13 de janeiro de 2007; com 135 e 136 dias depois da semeadura, respectivamente.

3.6 Determinações de solo e planta

Os atributos químicos das áreas foram determinados através de análise das amostras de solo, coletadas na profundidade de 0-10 cm. Foi um requisito fundamental na escolha da área do experimento a baixa disponibilidade de fósforo e potássio, justificando a necessidade da aplicação do corretivo, buscando obter significância nos resultados.

Foram coletadas amostras gerais de solo antes da semeadura e após a colheita do girassol, sendo efetuadas dez sub-amostras por parcela compondo uma amostra representativa da parcela.

As análises laboratoriais de solos foram realizadas no laboratório de solos da Universidade Federal de Santa Maria, segundo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

O nitrogênio foi avaliado indiretamente em função do teor de MO e determinado pelo método de oxidação da MO do solo por solução sulfocrômica com calor externo e determinação espectrofotométrica do Cr^{+3}.

O fósforo foi extraído por solução extratora de Mehlich 1 e determinou-se o teor do nutriente por colorimetria com ácido ascórbico como redutor.

O potássio foi extraído com a solução extratora de Mehlich 1 e determinado com método direto pelo fotômetro de chama .

Nas plantas de girassol foram determinados o rendimento de grãos, através da coleta de 50 capítulos ao acaso em cada parcela experimental e transformada sua equivalência em kg ha^{-1}.

3.8 Interpretação dos resultados

Para estes experimentos foram elaborados e ajustados modelos matemáticos de correlação e de regressão para as variáveis quantitativas, buscando descrição de resposta da cultura de girassol aos tratamentos aplicados.

Para a determinação das equações foi utilizado o programa computacional Sigma Plot 9.0 e para todos os nutrientes em estudo foram determinados o Rendimento Relativo (RR) e a dose de Máxima Eficiência Econômica (MEE). Para o fósforo e o potássio também foi determinado o teor crítico no solo sob resposta de produção relativa de grãos do girassol.

Todas as variáveis qualitativas avaliadas foram submetidas à análise da variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de probabilidade de erro.

3.8.1. Determinação do rendimento relativo da cultura do girassol

O rendimento relativo das culturas foi obtido pela relação:

RR = (Fator “a” da equação *100) / Rendimento máximo ou Máxima Eficiência Técnica. (1)

O rendimento da cultura sem o fertilizante testado (testemunha), utilizado no cálculo do rendimento relativo (1), foi o estimado pela função de produção ajustada, ou seja, o coeficiente “a” da equação de regressão entre as doses de fertilizantes e o rendimento de grãos.

Para o valor de rendimento máximo da cultura, foi utilizado o valor estimado pela equação de regressão até o máximo da dose de fertilizante aplicado. Quando foram empregadas funções polinomiais de segundo grau, utilizou-se a técnica de derivação das funções para a obtenção do valor de rendimento máximo a ser empregado na relação da equação (1).

3.8.2. Doses de Máxima Eficiência Econômica (MEE)

A Máxima Eficiência Técnica (MET) da cultura foi o resultado do rendimento máximo da cultura nos tratamentos em estudo e considerado como o maior valor do rendimento relativo absoluto (100 %). Para a determinação da MEE foi considerado o valor do 90% do rendimento relativo máximo ou MET.

Foi determinado, com base nas adubações, o ponto de máxima eficiência econômica de grãos e do nível do nutriente economicamente mais eficiente, pelo ajustamento das equações trinomiais de rendimento relativo (2).

$$[90\ \% == a + bx - cx^2] \qquad (2)$$

Onde x é a quantidade de nutriente economicamente mais eficiente.

3.8.3. Teor crítico de fósforo e potássio no solo

As curvas de respostas para fósforo e potássio foram obtidas através da relação entre os valores dos nutrientes determinados pelo Mehlich 1 e os valores de rendimento relativo calculado.

A equação de Mitscherlich (3) a qual é forcada a alcançar o rendimento relativo de 100 % foi a forma exponencial que melhor se ajustou aos dados obtidos.

$$y = A\ (1\text{-}10^{-bx}) \qquad (\ 3\ )$$

Onde y representa o rendimento relativo; A representa a produtividade máxima; b é o coeficiente de eficácia do elemento; e x é a quantidade de nutriente em kg ha^{-1}.

O teor crítico é o limite inferior da faixa Alta do nutriente no solo, em que normalmente se obtém rendimentos próximos a máxima eficiência econômica (MEE) equivalente a 90% do rendimento relativo máximo, como foi definido nos Programas de Adubação no Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSAO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1989, 1995, 2004; SCHLINDWEIN, 2003). Estes teores críticos

foram adaptados para calibrações visando recomendações sob plantio direto nos solos agrícolas da Região Oriental de Paraguai em milho, soja e trigo (WENDLING, 2005; CUBILLA, 2005) e comparados com os teores críticos em fósforo e potássio encontrados para a cultura de girassol neste trabalho no Paraguai.

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Região Oriental do Paraguai, nos departamentos de Itapúa e de Misiones na safra do girassol 2006/2007, houve condições necessárias para sua produção, principalmente porque os fatores externos climáticos (água, radiação solar, temperatura, ventos) não foram limitantes para a produtividade de grãos. A precipitação no período dos experimentos foi de 697 milímetros para o departamento de Misiones e 957 milímetros para o departamento de Itapúa, os quais foram eqüitativos ao longo do ciclo da cultura, sem existir períodos de carência de água que poderiam ocasionar déficit hídrico para a cultura de girassol (Anexo 9).

Segundo Unger (1990), submetido a uma boa nutrição, 400 a 500 milímetros de chuva bem distribuídos na maioria dos casos, são suficientes para obter rendimentos bem próximos ao potencial máximo da cultura do girassol. Este fato climático contribui na absorção e assimilação de nutrientes, refletindo na resposta do girassol às doses de nitrogênio, fósforo e potássio aplicado no solo para os dois experimentos em estudo.

4.1 Adubação nitrogenada no girassol

4.1.1 Produtividade de Grãos

Avaliando-se as produtividades em grãos ocasionados com o efeito da adubação nitrogenada, observam-se respostas e comportamentos similares nos experimentos instalados em Misiones e Itapúa.

No experimento Misiones (Figura 7) o rendimento máximo foi de 2440 kg ha $^{-1}$ de grãos na dose de 75 kg ha^{-1} de N, que comparando com a testemunha sem aplicação de N

(1466 kg ha $^{-1}$), obteve-se um incremento de produção de 974 kg há $^{-1}$ de grãos, equivalente ao 40 % em acréscimos na produtividade do girassol com aplicações de adubação nitrogenada.

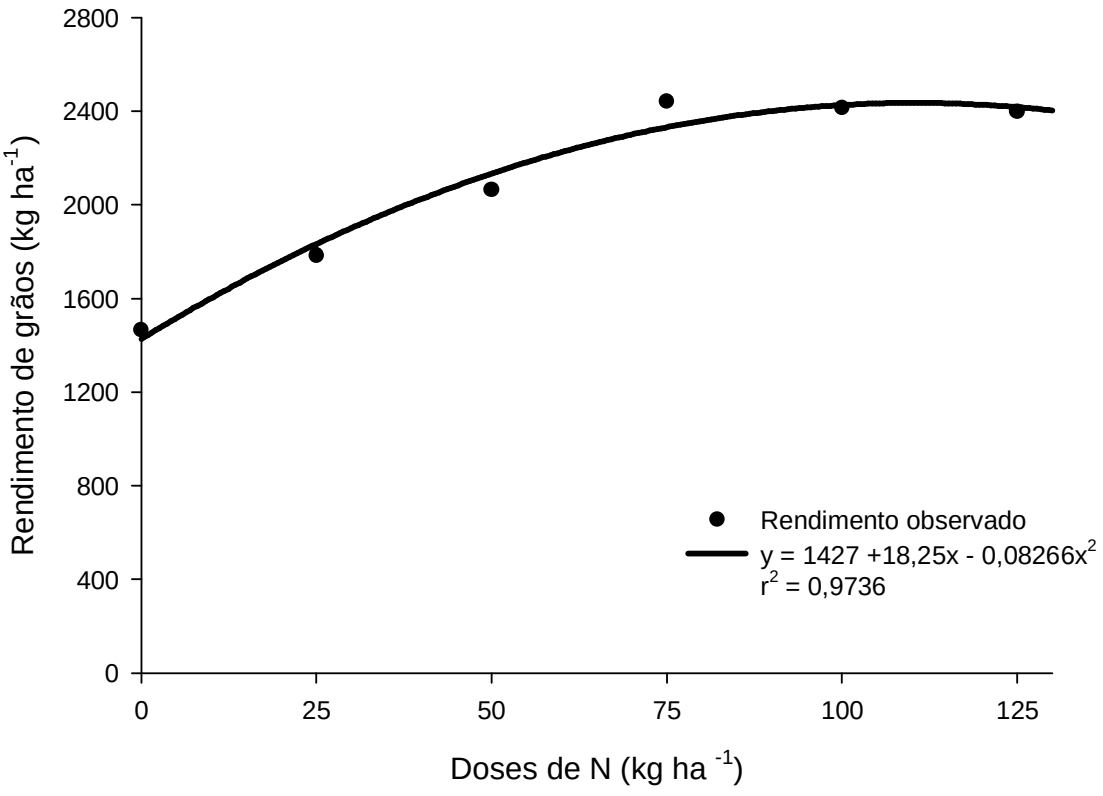


Figura 7. Produtividade de grãos de girassol em função das doses de nitrogênio, Misiones, Paraguai, 2007.

Para Itapúa (Figura 8) o nitrogênio promoveu um incremento de até 46,3 % na produtividade do girassol, alcançando no maior rendimento 2428 kg ha^{-1} de grãos com a dose de 125 kg ha^{-1} de N, comparando-se com a testemunha sem N, onde se obteve uma produção de 1304 kg ha^{-1} de grãos.

Os valores obtidos neste experimento coincidem com outros trabalhos utilizando a cultura do girassol, desenvolvidos no Cerrado Brasileiro sob adubação nitrogenada (SMIDERLE et al., 2002; SMIDERLE et al., 2003), onde os tratamentos sem N provocaram uma redução de até 60 % na produtividade, comprovando a importância do nutriente como limitante da produção do girassol.

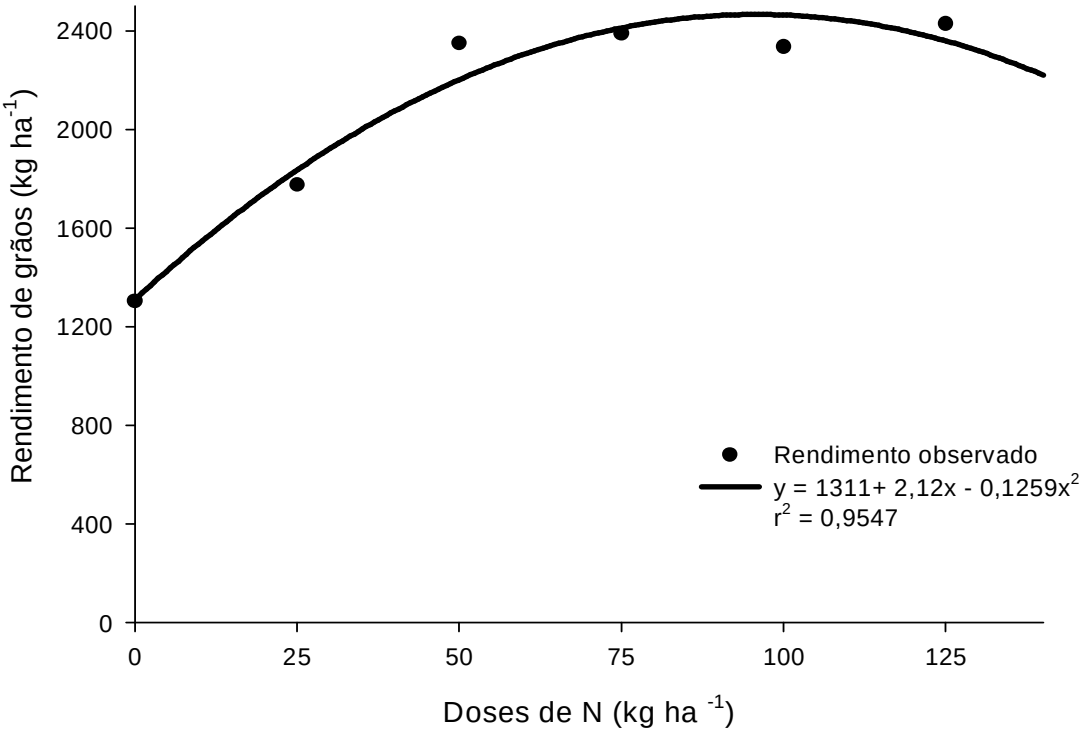


Figura 8. Produtividade de grãos do girassol em função das doses de nitrogênio, Itapúa, Paraguai, 2007.

Comparando os dois experimentos, não existiu uma diferença significativa de produtividade entre os tratamentos em estudo, mas no experimento Misiones houve uma resposta mais pronunciada até a dose 75 kg ha^{-1}de N aplicado. Para Itapúa observou-se um aumento de produtividade até o tratamento de 50 kg ha^{-1} de N aplicado.

4.1.2 Doses de Máxima Eficiência Econômica (MEE)

A MET da cultura foi o resultado do rendimento máximo da cultura nos tratamentos em estudo e considerado como o maior valor do rendimento relativo absoluto (100 %). Para a determinação da máxima eficiência econômica (MEE) foi considerado o valor do 90% do

rendimento relativo máximo ou máxima eficiência técnica (MET) tendo a dose e a produtividade ajustada pela equação de rendimento relativo da cultura nos dois experimentos.

Para a recomendação de adubação nitrogenada para trigo e milho sob plantio direto no Paraguai (WENDLING, 2005), foi utilizada a relação preço insumo/produto, resultando num fator utilizado na derivação da equação de produtividade para determinar a dose de MEE, entretanto para esta cultura não se ajustou essa relação, pelo elevado preço do girassol, comparado aos preços de trigo e milho. Neste trabalho optou-se por utilizar 90% da MET do rendimento relativo, o qual se ajustou melhor para determinação da MEE, método este utilizado no Brasil em outros trabalhos realizados com a cultura do girassol (SMIDERLE et al., 2002; CASTRO et al., 2004).

Tabela 4. Equações de produtividade, coeficiente de determinação, dose de máxima eficiência técnica e econômica (MET e MEE), produtividade com a dose (MET e MEE) em função do nitrogênio aplicado no girassol, e teor de matéria orgânica no solo, experimentos de Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007.

	Experimentos	
	Misiones	Itapúa
Equação produtividade	$Y = 1427+18,25N -0,08266N^2$	$Y = 1311+24,12N-0,1259N^2$
Coef. determinação	$r^2 = 0,97$	$r^2 = 0,95$
Equação rend. relativa	$Y = 58,4+0,7478N -0,003387N^2$	$Y = 54+0,99348N -0,00518N^2$
Coef. determinação	$r^2 = 0,97$	$r^2 = 0,95$
Dose MET	75 kg ha $^{-1}$	125 kg ha $^{-1}$
Rendimento MET	2440 kg ha $^{-1}$	2428 kg ha $^{-1}$
Dose MEE	57 kg ha $^{-1}$	48 kg ha $^{-1}$
Rendimento MEE	2199 kg ha $^{-1}$	2178 kg ha $^{-1}$
*Resposta grãos kg N^{-1}	13 kg kg^{-1}	18 kg kg^{-1}
Teor Matéria Orgânica	1,8 %	2,9 %

Obtido pela equação Resposta grãos kg N = Rend. MEE – Rend. Testemunha/ Dose MEE

Foram ajustadas as equações de rendimento relativo Misiones [90 % = 58,4 + 0,7478N - 0,003387N^2 ; r^2.= 0,97] e Itapúa [90 % = 54 + 0,99348N - 0,00518N^2 ; r^2 = 0,97]; com base

na adubação nitrogenada, indicando o ponto de máxima eficiência econômica de grãos e do nível do nutriente economicamente mais eficiente (Tabela 4).

No experimento de Misiones, com um teor de matéria orgânica de 1,8 %, a MEE de nitrogênio aplicado foi encontrada na dose de 57 kg ha^{-1}, dose esta que representou uma produtividade de 2199 kg ha^{-1} de grãos de girassol, representando o 90% do rendimento relativo da cultura (Figura 9). Relacionando o rendimento MEE com a testemunha, apresentou uma resposta de 13 kg ha^{-1} por kg ha^{-1} de N aplicado no girassol.

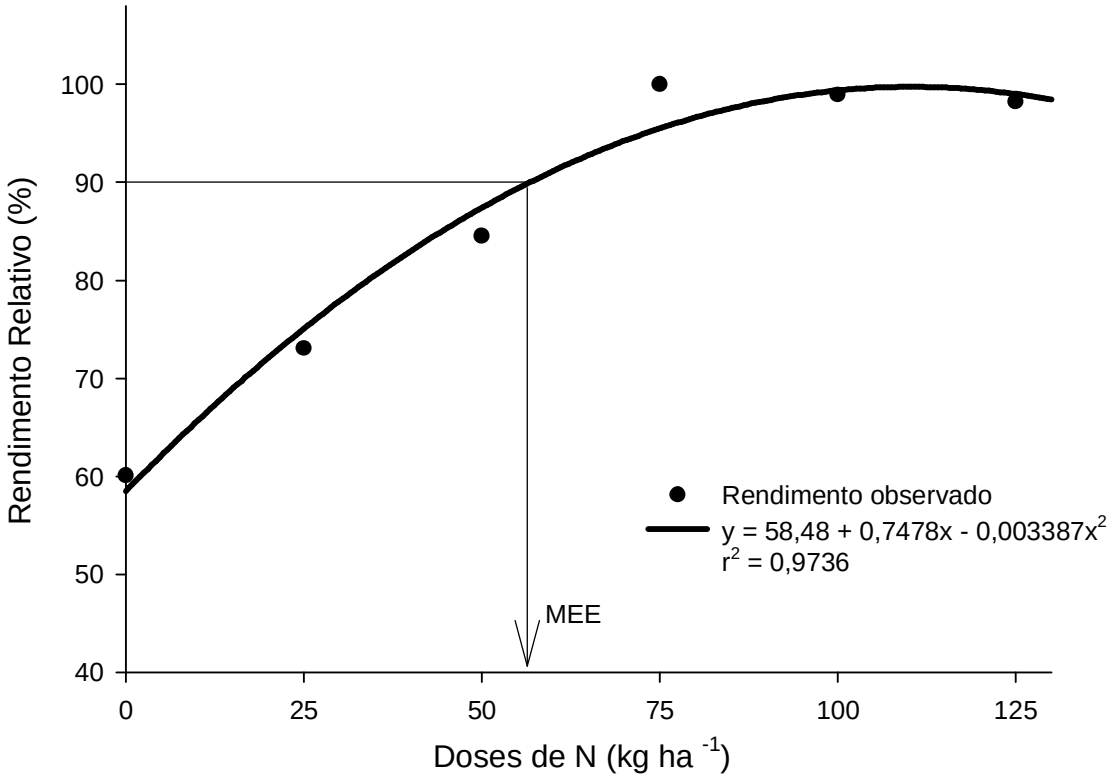


Figura 9. Dose de Máxima Eficiência Econômica (MEE) em função das doses de nitrogênio e do rendimento relativo de grãos do girassol, Misiones, Paraguai, 2007.

O experimento de Itapúa apresentou uma resposta menos acentuada do girassol sob adubação nitrogenada, porém a MEE foi inferior e encontrada na dose 48 kg ha^{-1} de nitrogênio, onde sua produtividade (MEE) alcançou 2178 kg ha^{-1}com esta dose (Figura 10). Houve uma resposta de 18 kg ha^{-1} por kg ha^{-1} de N aplicado no girassol, existindo uma

diferença superior de 5 kg ha^{-1} por kg ha^{-1} de N aplicado, comparando com o experimento de Misiones. Esta diferença verificou-se principalmente pelo teor de matéria orgânica no solo, visto que o rendimento da testemunha sem N para Itapúa foi 1304 kg ha^{-1} e para o experimento de Misiones de 1466 kg ha^{-1}.

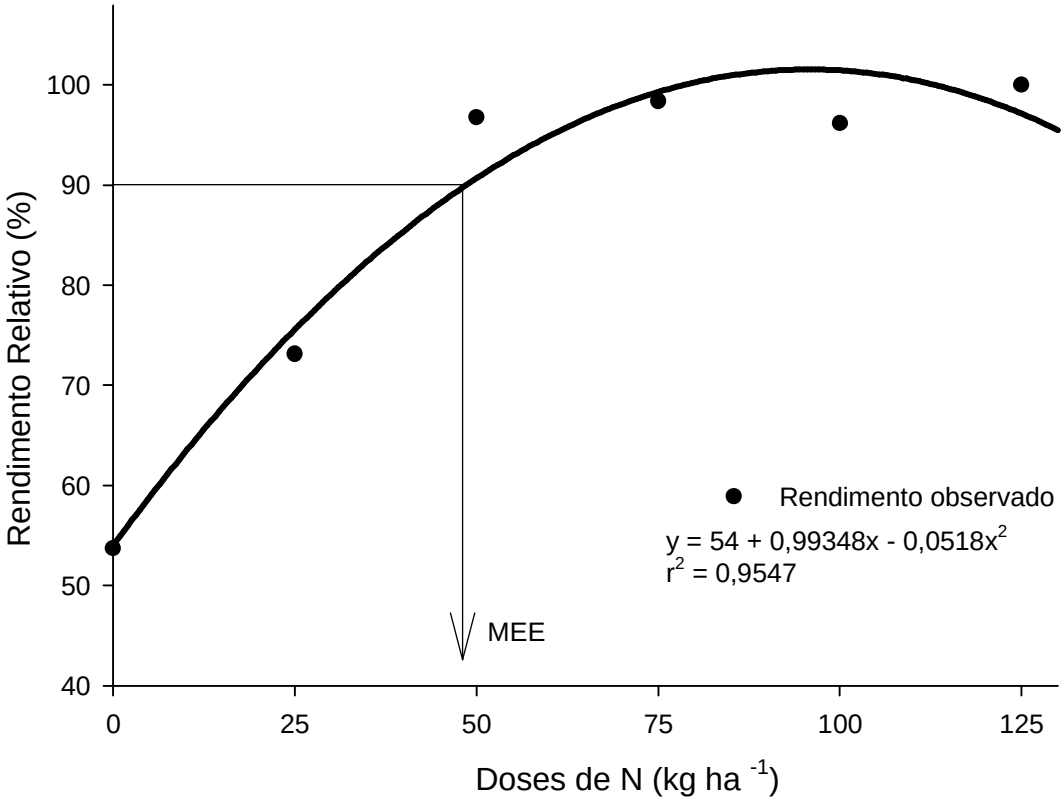


Figura 10. Dose de Máxima Eficiência Econômica (MEE) em função das doses de nitrogênio e do rendimento relativo de grãos do girassol, Itapúa, Paraguai, 2007.

Com o aumento da matéria orgânica, que é fonte de energia para os microorganismos, ocorreu também aumento da atividade microbiana que, aliada à mineralização, disponibiliza nutrientes às plantas, induzindo acréscimos na produtividade dos cultivos (HECKLER, 2002).

Carvalho & Pissaia (2002) realizaram trabalhos experimentais no Paraná com o objetivo de avaliar o efeito das diferentes doses de nitrogênio em cobertura no cultivo do girassol, onde verificaram que quanto maior o teor matéria orgânica no solo menor é resposta na produtividade em doses crescentes de adubação nitrogenada, sendo que para teores maiores

que 3,3 % de matéria orgânica, adubações nitrogenadas em cobertura não influenciaram significativamente o rendimento de aquênios do girassol.

O teor de matéria orgânica encontrada no solo de Itapúa foi de 2,9 %; sendo este teor maior que o experimento de Misiones, que apresentou um teor de 1,8%. Analisando os dois experimentos verificou-se uma diferença na dose de MEE, o qual diminuiu 9 kg ha^{-1} para o experimento de Itapúa, mas na produtividade (MEE) não houve grande diferença na comparação dos experimentos. As variações nas doses MEE podem ser explicadas pelo teor inicial de matéria orgânica dos experimentos em estudo.

Avaliações experimentais das respostas à adubação no Paraná (CASTRO et al., 2004) e nos Cerrados de Roraima (SMIDERLE et al., 2002) verificaram resultados muitos semelhantes, onde a produção máxima do girassol com adubação nitrogenada foram alcançadas com 80 a 90 kg ha^{-1} de N e com aplicação de 40 a 50 kg ha^{-1} obtiveram a dose economicamente mais eficiente na cultura, obtidas também com 90% do rendimento relativo.

A produção de grãos geralmente situa-se em torno de 1.200 kg ha^{-1}, desde que os outros nutrientes estejam em níveis adequados no solo. Com a utilização de adubação nitrogenada, pode-se aumentar o rendimento para 3.000 kg ha^{-1} ou mais, desde que não exista nenhum outro fator afetando a cultura do girassol (BLAMEY, 1987).

Complementarmente, em alguns trabalhos com adubação nitrogenada verificou-se que uma fertilização excessiva com N pode provocar desequilíbrios no crescimento e desenvolvimento da planta resultando em acamamento, também diminuindo sua tolerância aos estresses climáticos e aumentando sua susceptibilidade ao ataque de fungos (LARCHER, 2000; DÍAZ ZORITA, 1995).

4.2 Adubação fosfatada no girassol

4.2.1. Produtividade de Grãos

A produtividade de grãos em funções das doses de fósforo (P) aplicadas no solo tiveram um efeito responsivo para os dois experimentos em estudo.

No experimento de Misiones (Figura 11) o maior rendimento foi de 2462 kg ha^{-1} de grãos com a dose máxima utilizada no experimento de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5. Ao comparar com a testemunha sem P (1792 kg ha^{-1}), observa-se um incremento de 670 kg ha^{-1} na produção de grãos, equivalente à 27% da produção relativa do girassol. Com a dose de 40 kg ha^{-1} superou-se 2000 kg ha^{-1}.

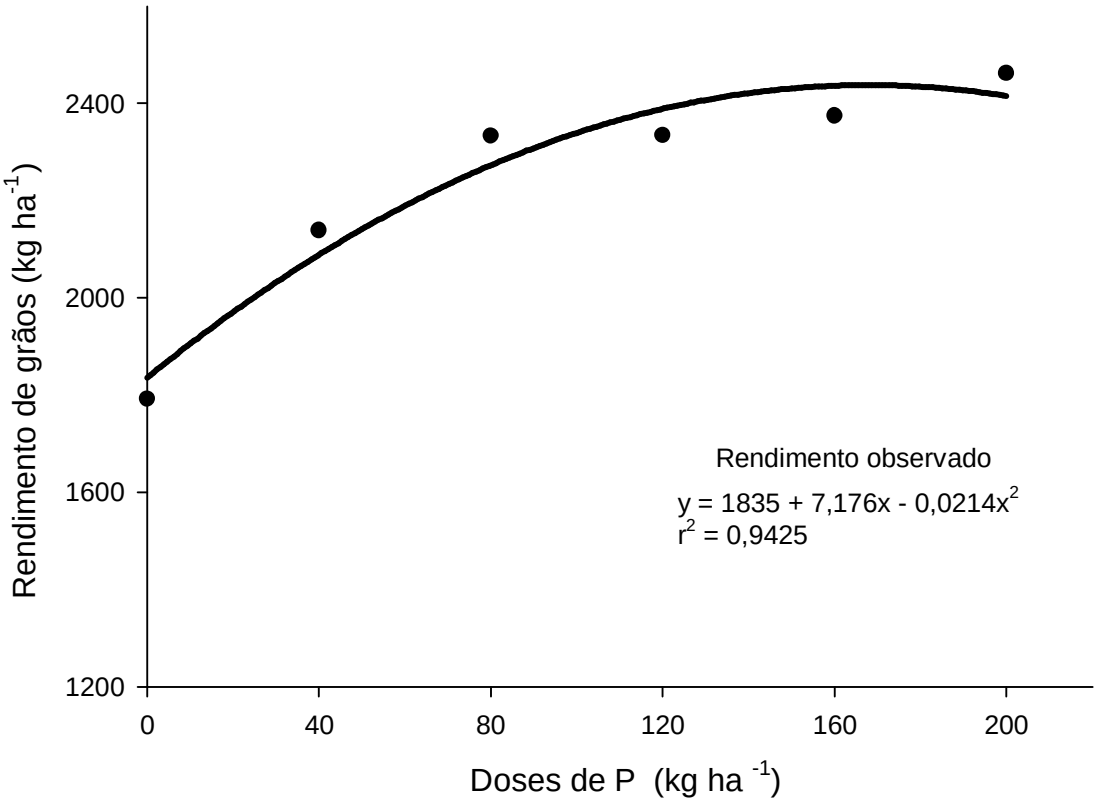


Figura 11. Produtividade de grãos de girassol em função das doses de fósforo, Misiones, Paraguai, 2007.

O teor de argila no solo para Misiones foi de 200 g kg^{-1} e para Itapúa o experimento foi conduzido num solo mais argiloso com 600 g kg^{-1} de argila.

A escolha dos solos para os experimentos com diferença no teor de argila foi uma estratégia visando obter dados que se ajustassem às recomendações de fósforo no Paraguai sob plantio direto para soja, milho e trigo, os quais forem divididos em duas classes texturais (CUBILLA, 2005). A Classe 1 maior que 400 g kg^{-1} de argila, que se adequaria ao

experimento de Itapúa, e a Classe 2 menor que 400 g kg^{-1} de argila, representaria o experimento de Misiones.

A produtividade máxima para o experimento Itapúa foi encontrada na dose de 160 kg ha^{-1} de P_2O_5, o qual representou em grãos 2363 kg ha^{-1}. A testemunha atingiu 1119 kg ha^{-1} e significou uma diferença de 53% em resposta de grãos (1244 kg ha^{-1}) com aplicação de P. Com a dose de 80 kg ha $^{-1}$ de P_2O_5 foi suficiente para superar 2000 kg ha^{-1} (Figura 12).

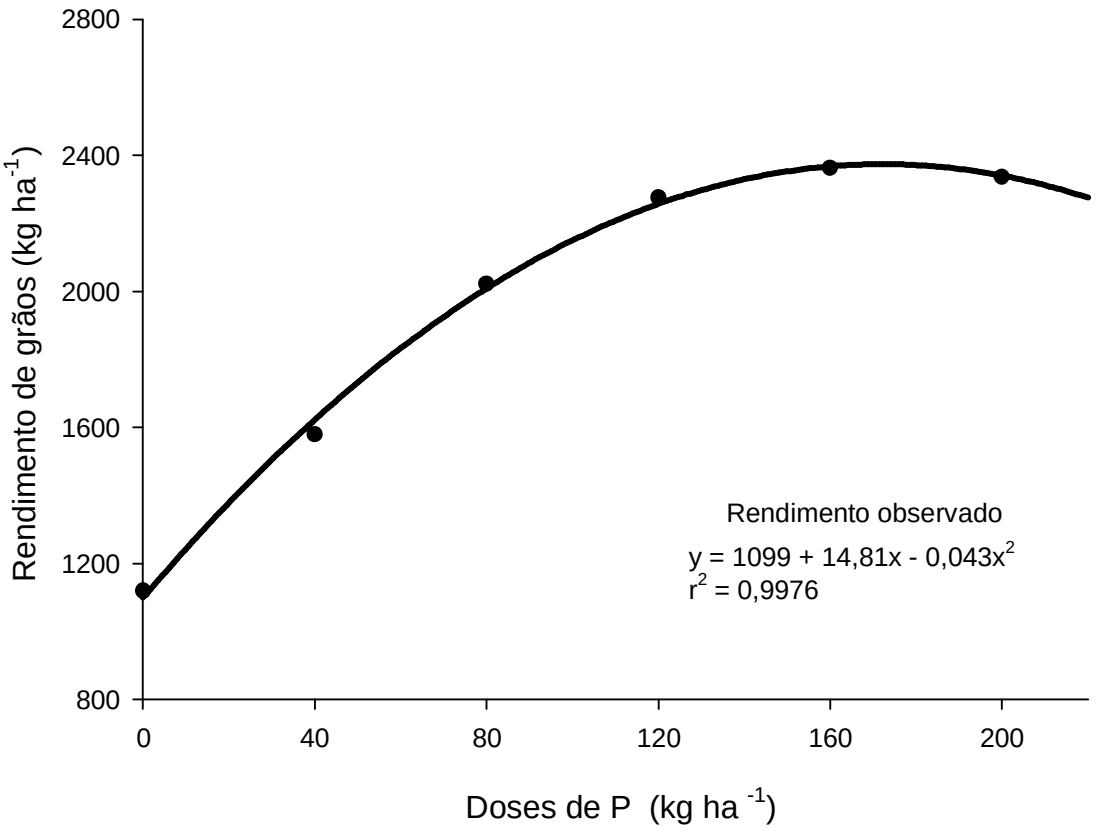


Figura 12. Produtividade de grãos de girassol em função das doses de fósforo, Itapúa, Paraguai, 2007.

4.2.2. Doses de Máxima Eficiência Econômica (MEE)

Foram determinados, com base na adubação fosfatada, o ponto de máxima eficiência econômica de grãos e do nível do nutriente economicamente mais eficiente pelas equações de

rendimento relativo Misiones [90 % == 74,54 + 02915P -0,00087P^2 ; r^2.= 0,94] e Itapúa [90 % = 46,5 + 0,627P - 0,001820P^2; r^2 = 0,99].

Tabela 5. Equações de produtividade, coeficiente de determinação, dose de máxima eficiência técnica e econômica (MET e MEE), produtividade com a dose máxima eficiência técnica e econômica (MET e MEE), em função das doses de fósforo aplicadas no girassol, e teor de fósforo inicial no solo, nos experimentos Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007.

	Experimentos	
	Misiones	Itapúa
Equação produtividade	Y = 1835+7,176P -0,0214P^2	Y = 1099+14,81P -0,043P^2
Coef. determinação	r^2 = 0,94	r^2 = 0,99
Equação rend. relativa	Y = 74,54+02915P -0,00087P^2	Y = 46,5+0,627P -0,001820P^2
Coef. determinação	r^2 = 0,94	r^2 = 0,99
Dose MET	200 kg ha^{-1}	160 kg ha^{-1}
Rendimento MET	2462 kg ha^{-1}	2363 kg ha^{-1}
Dose MEE	66 kg ha^{-1}	96 kg ha^{-1}
Rendimento MEE	2215 kg ha^{-1}	2124 kg ha^{-1}
*Resposta grãos kg P^{-1}	6,4 kg kg^{-1}	10,4 kg kg^{-1}
Fósforo inicial no solo	10,9 mg dm^{-3}	4,5 mg dm^{-3}

*Obtido pela equação Resposta grãos kg N = Rend. MEE – Rend. Testemunha/ Dose MEE.

O solo do experimento de Misiones pertence à classe Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 1999) e na classificação americana utilizada no Paraguai é Ultisol (USDA, 1998; LOPEZ et al., 1995), de origem arenítica. O teor inicial de fósforo de solo foi de 10,9 mg dm^{-3}, e a dose de MEE foi atingida com 66 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 13). Esta dose representou uma produtividade (MEE) de 2215 kg ha^{-1} de grãos de girassol, representando 90% do rendimento relativo da cultura (Tabela 5).

Em comparação do rendimento MEE com a testemunha, observou-se uma resposta de 6,4 kg ha^{-1} por kg ha^{-1} de P_2O_5 aplicado no girassol.

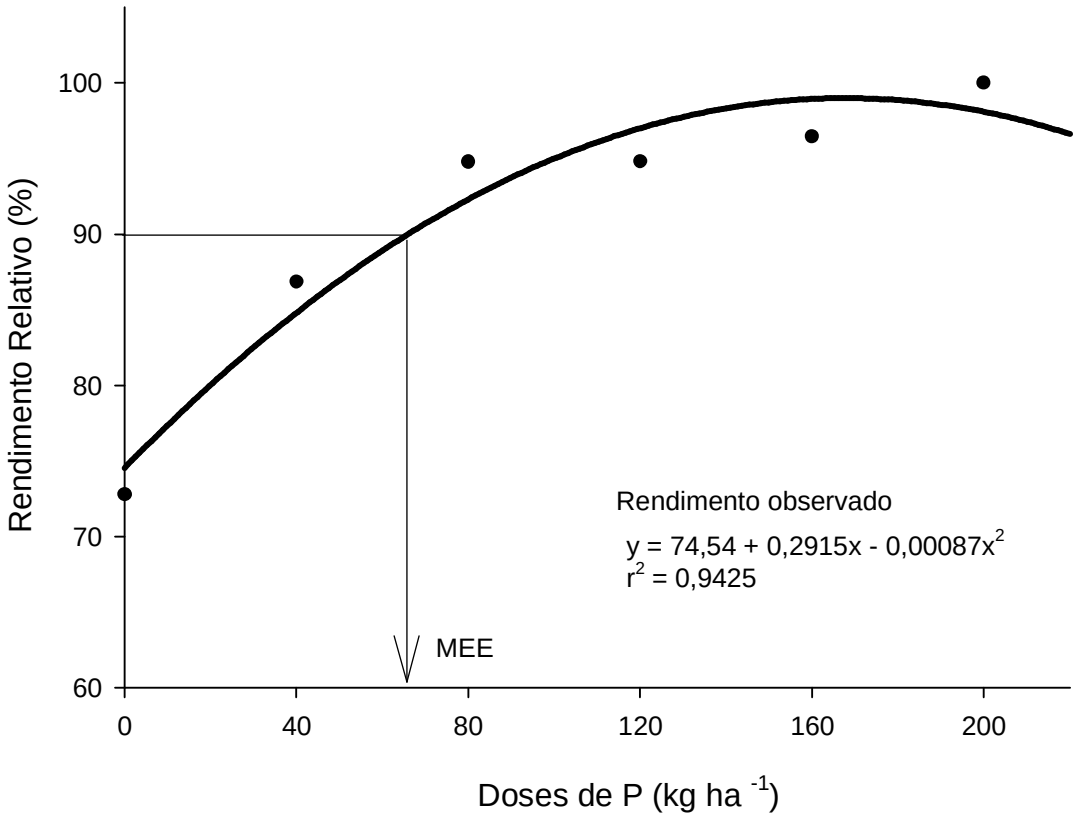


Figura 13. Dose de Máxima Eficiência Econômica (MEE) em função das doses de fósforo e do rendimento relativo de grãos do girassol, Misiones, Paraguai, 2007.

O teor inicial de fósforo encontrado no solo no experimento de Itapúa foi de 4mg dm^{-3}. O solo predominante neste departamento pertence à classe de Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 1999), Oxisols na Classificação americana (USDA, 1998; LOPEZ et al., 1995), de origem basáltica, os quais sofreram processos de intemperização e apresentam teores elevados de óxidos de ferro e alumínio, sendo os solos de maior exploração agrícola no Paraguai.

Segundo Raij (1991); os solos de origem basáltica apresentam as mais altas taxas de fixação de fósforo, sendo mais intensas naquelas que predominam óxidos de ferro e alumínio, onde é necessária maior adição de adubação fosfatada para obter respostas nas culturas.

A fixação de fósforo em solos originados de basalto e o teor inicial de fósforo no solo, podem explicar o comportamento deste nutriente no experimento de Itapúa, onde houve um acréscimo considerável na dose de MEE alcançando 96 kg ha^{-1}, com uma produtividade MEE que atingiu 2124 kg ha^{-1}, semelhante ao experimento de Misiones (Figura 14 e Tabela 5).

Foi verificado uma resposta de 10,4 kg ha^{-1} de grãos por kg ha^{-1} de P_2O_5 aplicado na cultura do girassol, quando comparada com a testemunha (sem P), e relacionando com a dose MEE de P_2O_5 aplicado.

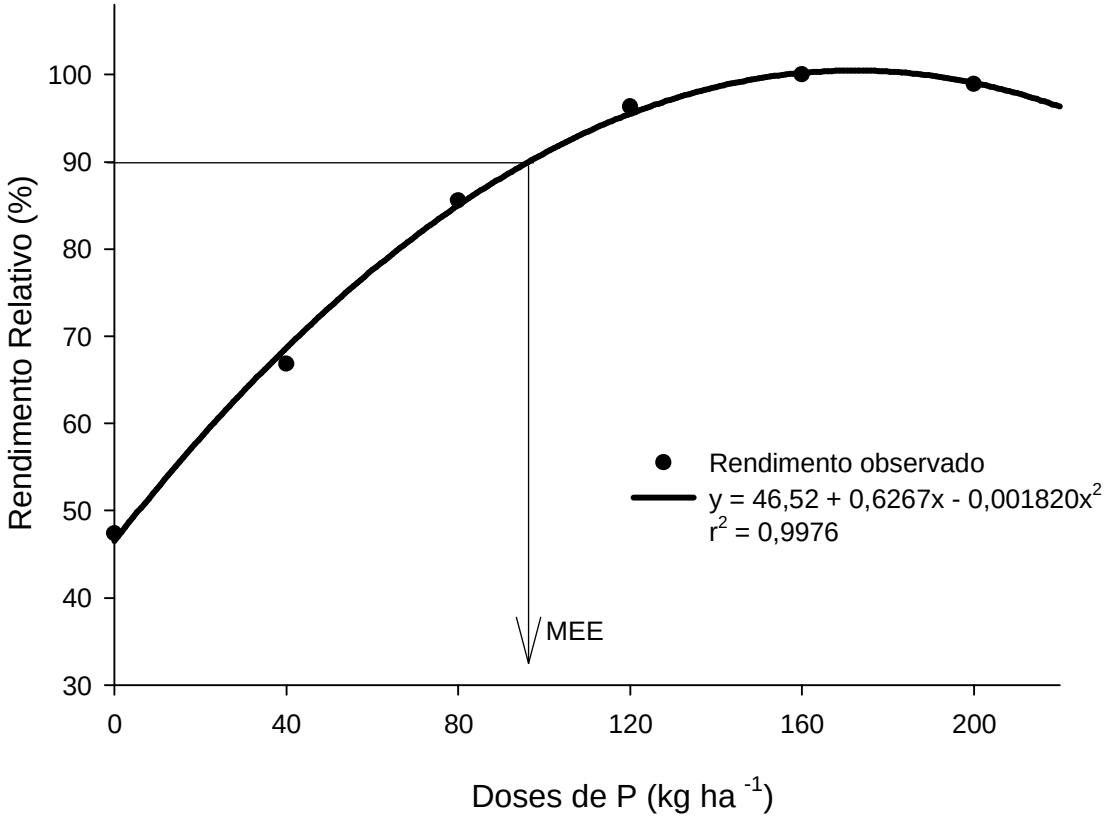


Figura 14. Dose de Máxima Eficiência Econômica (MEE) em função das doses de fósforo e do rendimento relativo de grãos do girassol, Itapúa, Paraguai, 2007.

Trabalhos feitos com a cultura do girassol no Brasil (no Paraná), relatam que foram alcançadas as melhores respostas em produtividades nos solos de textura argilosa e com teores de médio a alto de fósforo no solo, em torno de 6 mg dm^{-3}, obtidos com o extrator Mehlich 1. E as melhores respostas no girassol foram obtidas com fertilização de 40 a 80 kg ha^{-1} P_20_5 (CASTRO et al., 1993).

4.2.3. Determinação do Teor Crítico no solo em função das doses de Fósforo

A função matemática que melhor se ajustou para relacionar a produção relativa com o teor do nutriente no solo extraído por Mehlich 1, foi a equação de Mitscherlich, que descreve a lei dos retornos decrescentes, a qual está bem descrita em Raij (1981) e Malavolta (2006).

Tabela 6. Equações de Mitscherlich, coeficiente de determinação, teor crítico do nutriente no solo em função das doses de fósforo aplicadas, nos experimentos Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007.

Experimento	Equação Mitscherlich	Coef. determinação	Teor Crítico P no solo
Misiones	$Y = 100(1-10^{-0,06419*P})$	0,91	15,5 mg dm^{-3}
Itapúa	$Y = 100(1-10^{-0,06932*P})$	0,88	14,4 mg dm^{-3}

Com os dados experimentais obtidos no experimento de Misiones, o teor crítico de P no solo, correspondendo aos 90 % do rendimento relativo, foi de 15,5 mg dm^{-3} (Tabela 6) .

Na figura 15, se observa um acréscimo nos teores de fósforo no solo com o aumento das doses de P_2O_5. O teor inicial de P no solo foi de 10, 9 mg dm^{-3}, e os valores de P no solo obtidos com as doses de 40, 80, 120, 160 e 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 foram de 12,3; 17,8; 28,3, 31,5 e 56 mg dm^{-3}, respectivamente. Na testemunha (dose 0 de P_2O_5) diminuiu o teor inicial no solo para 9,5 mg dm^{-3}.

Relacionando a dose MEE, que foi de 66 kg ha^{-1} para obter 90% da produção relativa, com a diferença entre o teor inicial de P no solo com e o teor crítico no solo, que foi 4,6 mg dm^{-3}, resulta numa necessidade de 14,35 kg de P_2O_5 ha^{-1} para elevar 1 mg dm^{-3} do teor de P no solo do experimento de Misiones.

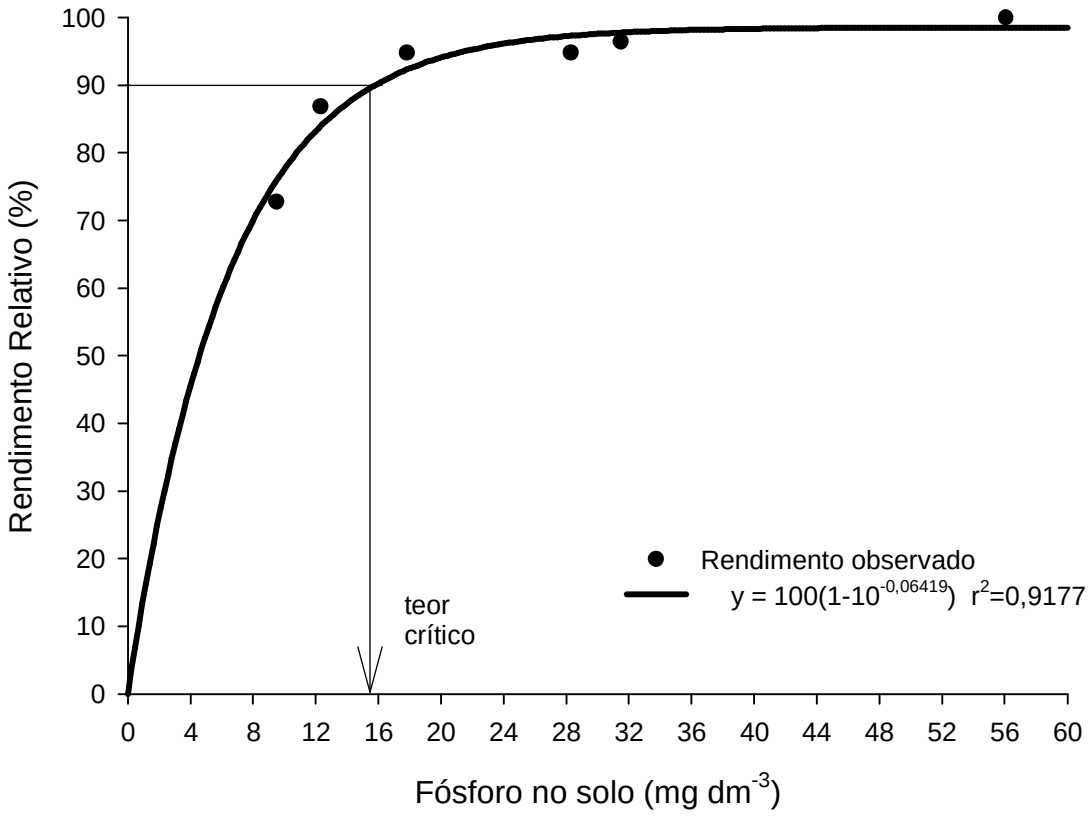


Figura 15. Relação entre fósforo extraído pela solução Mehlich I e o rendimento relativo de grãos do girassol, teor crítico encontrado no solo, equação de produção e coeficiente de correlação, em função das doses de fósforo aplicado, Misiones, Paraguai, 2007.

Observando as respostas das aplicações de P_2O_5 nos teores no solo do experimento de Itapúa, verificou-se um aumento e variações dos níveis de P no solo (Figura 16). O teor crítico atingido aos 90% da produção relativa neste solo foi de 14,4 mg dm^{-3}. O teor inicial de P no solo foi de 4,5 mg dm^{-3}, com as doses 40, 80, 120, 160 e 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 os teores no solo foram de 8,9; 11,2; 13,5; 15 e 23 mg dm^{-3} de P no solo, respectivamente. Na testemunha (dose 0 P_2O_5), o teor de fósforo no solo foi de 4,5 mg dm^{-3}, depois da colheita.

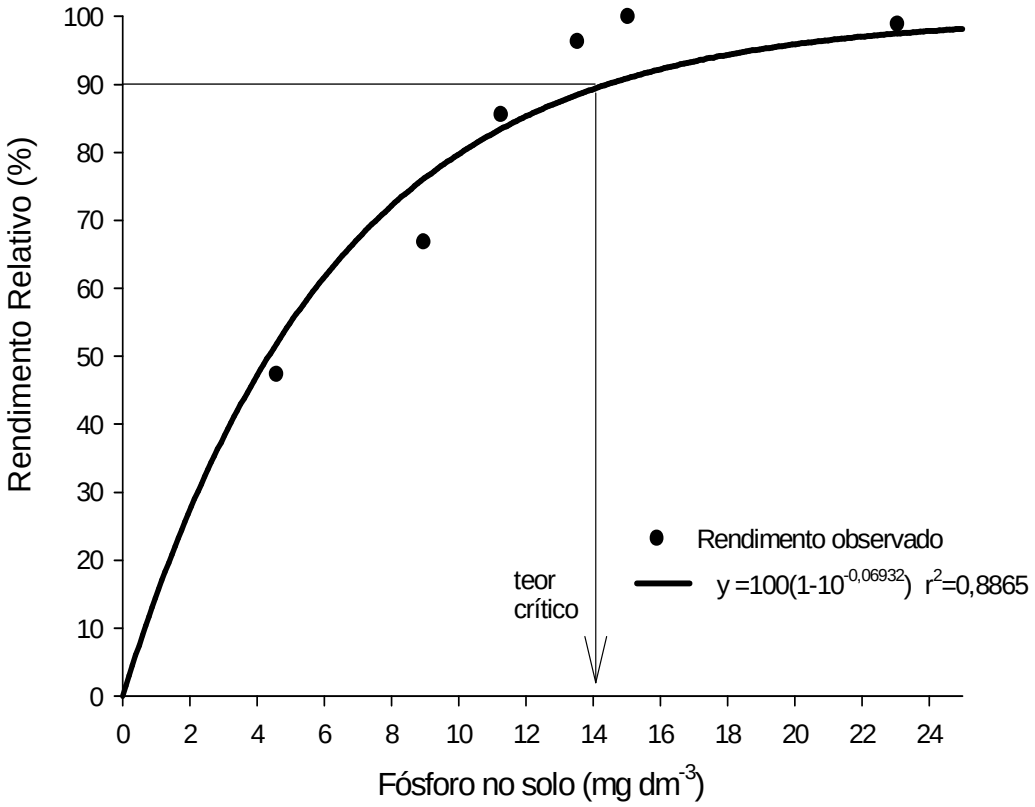


Figura 16. Relação entre fósforo extraído pela solução Mehlich I e o rendimento relativo de grãos do girassol, teor crítico encontrado no solo, equação de produção e coeficiente de correlação, em função das doses de fósforo aplicado, experimento Itapúa, Paraguai, 2007.

Ao relacionar a dose MEE, que foi de 96 kg ha^{-1} para obter 90% da produção relativa, e a diferença entre o teor inicial de P no solo e o teor crítico, que resultou em 9,9 mg dm^{-3}, para elevação de 1 mg dm^{-3} do teor de P no solo do experimento de Itapúa, resulta na necessidade de aplicação de 9,7 kg de P_2O_5 ha^{-1}.

Sendo misturados os dados dos dois experimentos num gráfico e ajustando pela equação de Mitscherlich, foi obtido um teor de crítico de 14,8 mg dm^3 e um coeficiente de determinação de 0,89 (Figura 17). Comparando os dados dos experimentos de Misiones e Itapúa, houveram respostas crescentes à adubação fosfatada, mais pronunciada para o solo argiloso, o qual duplicou sua produção com as adições de P_2O_5.

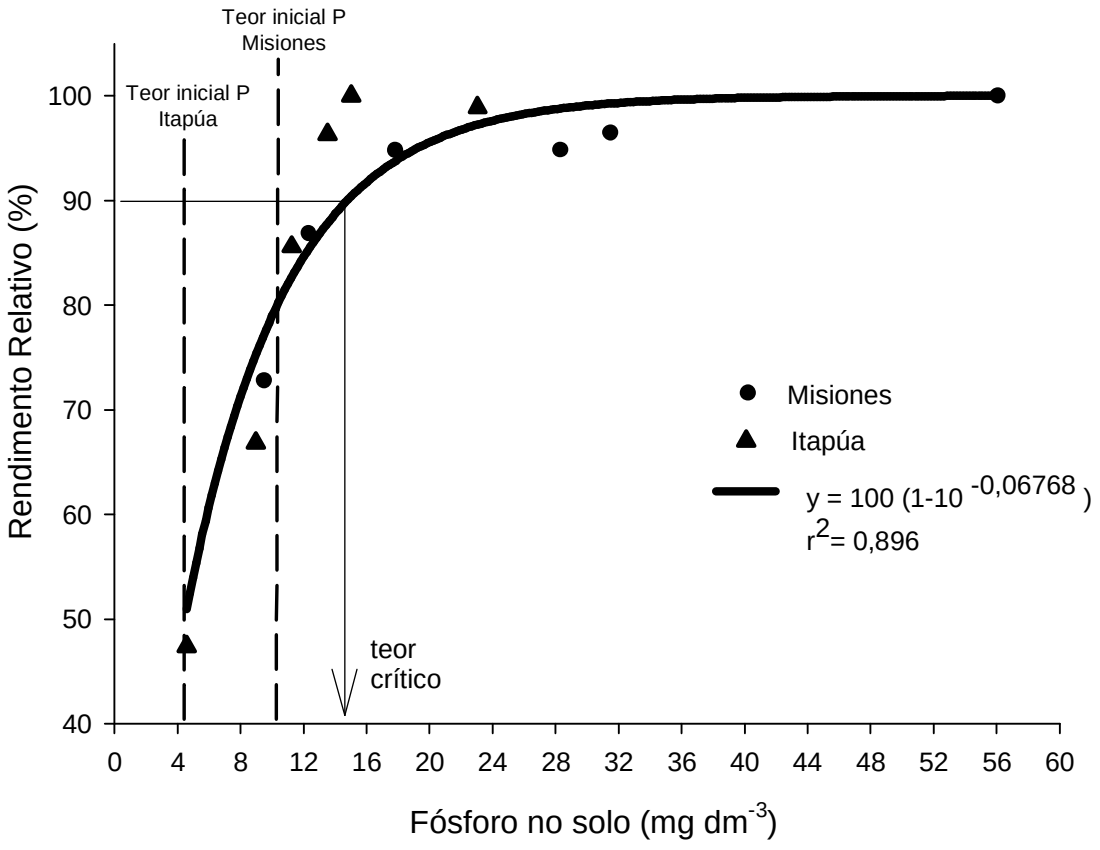


Figura 17. Relação entre fósforo extraído pela solução Mehlich I e o rendimento relativo de grãos do girassol, teor crítico encontrado no solo, equação de produção e coeficiente de correlação, em função das doses de fósforo aplicado, Itapúa e Misiones, Paraguai, 2007.

Em trabalhos de calibração feitos na Região Oriental do Paraguai para as culturas de milho, trigo e soja, onde foram verificados resultados similares para as duas classes texturais, Cubilla (2005) constatou um teor crítico de P no solo em 15 mg dm^3 para a Classe 2, menor que 400 g kg^{-1} de argila. Esta classe textural representa o experimento de Misiones, onde obteve-se um teor crítico de 15,4 mg dm^{-3} para a cultura do girassol. Para a Classe 1, maior que 400 g kg^{-1} de argila, o resultado do teor de crítico no solo foi de 12 mg dm^3, não muito distante aos resultados encontrados no experimento de Itapúa na cultura do girassol, onde se obteve como teor crítico 14,4 mg dm^3.

4.3 Adubação potássica no girassol

4.3.1 Produtividade de grãos

O comportamento da produtividade de grãos no girassol com as doses de potássio (0, 30, 60, 90, 120, 150 kg ha^{-1}) aplicados nos experimentos indicou uma resposta maior para o experimento de Misiones, o qual é um solo com menor quantidade de argila, além de ter conseqüentemente uma Capacidade de Troca Catiônica (CTC) mais baixa, e um menor teor inicial de K no solo

Para o experimento de Misiones (Figura 18) o rendimento máximo (MET) foi de 2600 kg ha^{-1} de grãos, na dose de 90 kg ha^{-1} de K_20, o que corresponde a um incremento de 922 kg ha^{-1} de grãos, equivalente à 35,5 % da produtividade máxima do girassol, com aplicação de K_20 em comparação com a testemunha (1678 kg ha^{-1}).

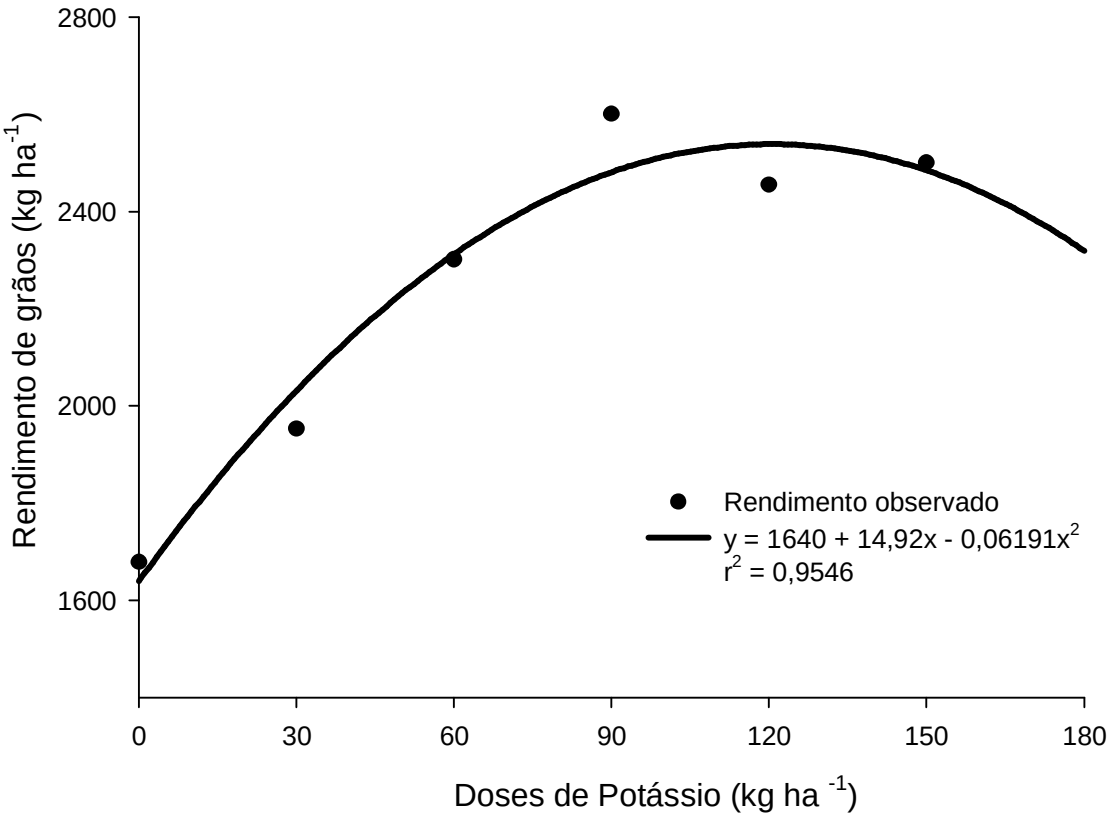


Figura 18. Produtividade de grãos de girassol em função das doses de potássio, Misiones, Paraguai, 2007.

No experimento de Itapúa (Figura 21) o potássio promoveu um menor incremento na produtividade, sendo que o maior rendimento alcançado foi de 2165 kg ha^{-1} de grãos com a dose de 120 kg ha^{-1} de K_20, isto comparada com a produção da testemunha sem N (1694 kg ha^{-1}), ocasionou um acréscimo de 471 kg ha^{-1} de grãos, equivalente em 21,8% de aumento na produtividade com adição de K_20 no solo.

As respostas de produtividade, comparando os experimentos, foram consideravelmente crescentes para Misiones até a dose 90 kg ha^{-1} de K_20, mas para Itapúa o comportamento responsivo diminuiu e foi somente até a dose 60 kg ha^{-1}. Também no rendimento de grãos, ocorreram decréscimos em produtividade para Itapúa em comparação com Misiones. Verificando as situações apresentadas, este fato pode ser explicado pelo alto teor inicial de potássio no solo existente em Itapúa.

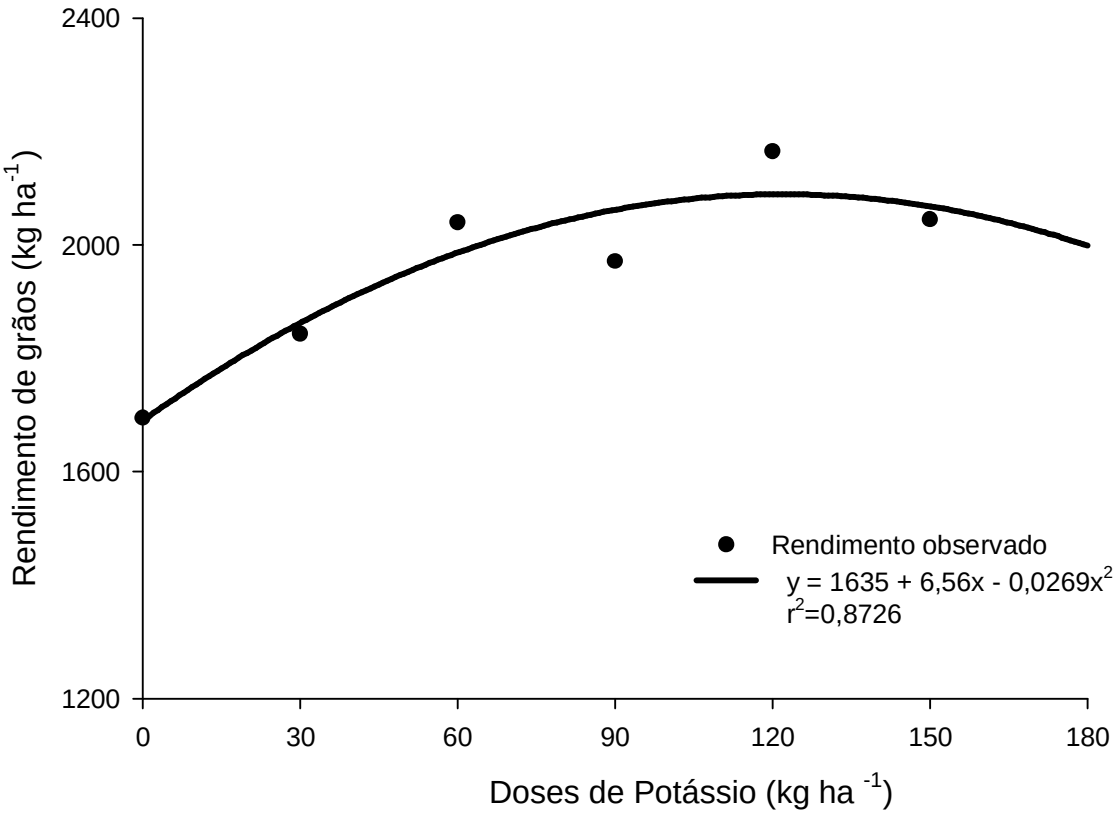


Figura 19. Produtividade de grãos de girassol em função das doses de potássio, Itapúa, Paraguai, 2007.

Blamey et al. (1987) afirmaram que não há resposta do girassol à adubação em solos com alto K-disponível (Mehlich-1), e que somente haveria probabilidade de resposta ao K em solos com teores menores do que 98 mg dm^{-3} de potássio.

Trabalhos de calibração e respostas de adubação potássica feitos na Região Oriental do Paraguai para trigo, milho e soja, demonstraram a mesma tendência responsiva para os solos de Misiones. Entretanto para os solos dos Departamentos de Itapúa e Alto Paraná, os quais são solos com teor alto de K no solo e elevada quantidade de argila, as respostas das plantas à adubação potássica não foram significativas (WENDLING, 2005).

Neste trabalho, obtivemos resposta nas primeiras doses de K_20 no experimento de Itapúa para o girassol, mas estaria relacionado com a cultura do girassol, que é mais exigente em potássio que as maiorias das culturas.

O girassol é uma planta que absorve uma quantidade muito grande dos principais macronutrientes, em comparação com outras culturas de grãos como a soja, o milho e o trigo. De acordo com Sfredo et al. (1984), o girassol extrai e exporta 40% mais de potássio do que as culturas da soja e do milho.

A disponibilidade de potássio no solo, para ter uma boa produção de girassol, deve ser de média a alta, principalmente pela sua demanda que é elevada para cada tonelada de grãos produzida, em torno de 171 kg ha^{-1} de K_2O na parte aérea. A quantidade que é exportada através dos aquênios na colheita é de cerca 12 $kg.ha^{-1}$ de K_2O por tonelada produzida, isto equivale à 7 % de sua exportação em grãos e o restante do potássio absorvido fica nas folhas, caule, capítulos, raízes, etc (CASTRO & OLIVEIRA, 2005 ; BLAMEY et al, 1997).

4.3.2 Doses de Máxima Eficiência Econômica (MEE)

Os resultados para MEE foram encontrados ajustando as equações com base na adubação com K_20 em 90% do rendimento relativo máximo ou máxima eficiência técnica (MET), Misiones [90 % = 63,05 + 0,5739K - 0,00238K^2; r^2.= 0,95] e Itapúa [90 % = 46,5 + 0,627K - 0,001243K^2; r^2 = 0,87] (Tabela 7), sendo verificados os pontos de máxima eficiência econômica de grãos e do nível do nutriente economicamente mais eficiente pelas equações de rendimento relativo

Tabela 7. Equações de produtividade, coeficiente de determinação, dose de máxima eficiência técnica e econômica (MET e MEE), produtividade com a dose máxima eficiência técnica e econômica (MET e MEE), em função das doses de potássio aplicadas no girassol, e teor de Potássio inicial no solo, nos experimentos Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007.

	Experimentos	
	Misiones	Itapúa
Equação produtividade	$Y = 1640+14,92K-0,06191K^2$	$Y = 1635+6,56K -0,0269K^2$
Coef. determinação	$r^2 = 0,95$	$r^2 = 0,87$
Equação rend. relativa	$Y = 63,05+0,5739K -0,00238K^2$	$Y = 46,5+0,627K -0,001243K^2$
Coef. determinação	$r^2 = 0,95$	$r^2 = 0,87$
Dose MET	90 kg ha^{-1}	120 kg ha^{-1}
Rendimento MET	2600 kg ha^{-1}	2165 kg ha^{-1}
Dose MEE	64 kg ha^{-1}	49 kg ha^{-1}
Rendimento MEE	2341 kg ha^{-1}	1891 kg ha^{-1}
*Resposta grãos kg K^{-1}	10,4 kg kg^{-1}	4,3 kg kg^{-1}
Potássio inicial no solo	92 mg dm^{-3}	160 mg dm^{-3}

*Obtido pela equação Resposta grãos kg N = Rend. MEE – Rend. Testemunha/ Dose MEE

No experimento de Misiones, com um teor inicial de potássio no solo de 92 mg dm^{-3}, foi encontrada a dose de MEE em 64 kg ha^{-1} de K_2O. Esta dose representou uma produtividade de 2341 kg ha^{-1} de grãos de girassol. Houve uma resposta de 10,4 kg ha^{-1} de grãos por kg ha^{-1} de K_2O aplicado no girassol, relacionando o rendimento MEE com a testemunha.

Trabalhos em solos de textura média do Estado de Mato Grosso (CASTRO & OLIVEIRA, 2005), demonstraram que em condições de baixa até média disponibilidade de K-trocável no solo, a resposta do girassol pode variar de 40 a 80 kg ha^{-1} de K_20, concordando com os dados obtidos para os solos do experimento de Misiones.

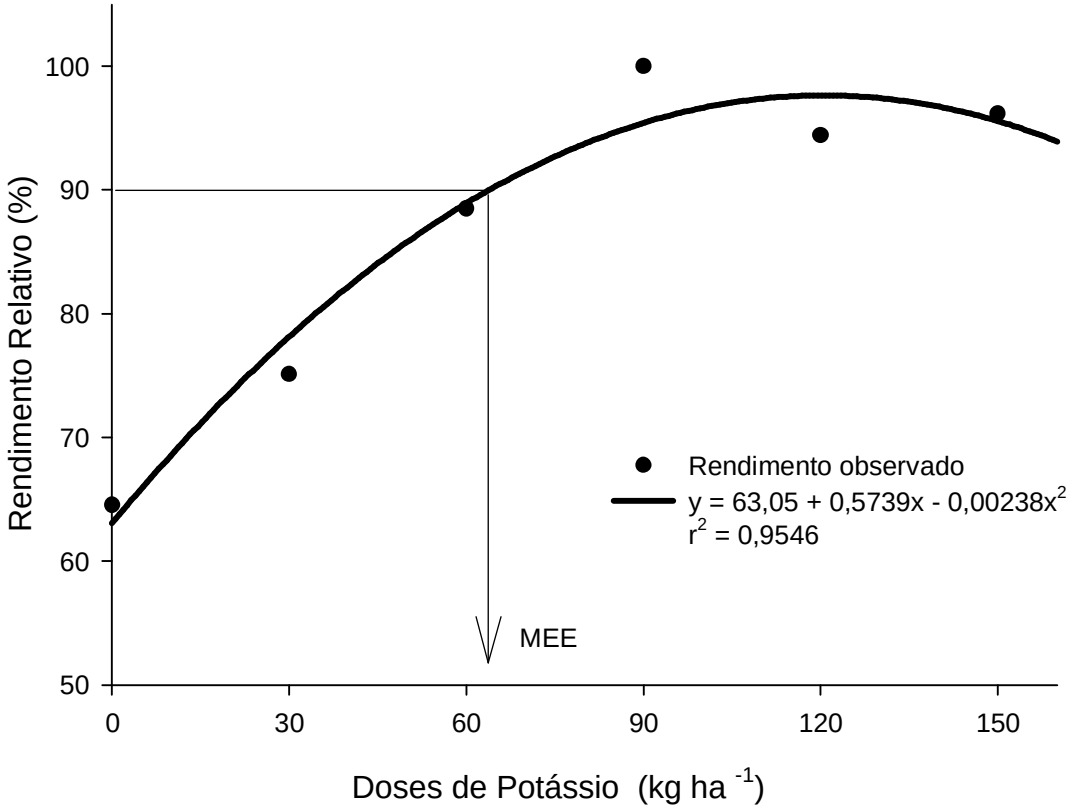


Figura 20. Dose de Máxima Eficiência Econômica (MEE) em função das doses de potássio e do rendimento relativo de grãos do girassol, Misiones, Paraguai, 2007.

Para o solo com textura mais argilosa como em Itapúa, existiu uma diminuição na produtividade de grãos em resposta à adubação com K_2O. Porém a dose MEE foi inferior e encontrada na dose 49 kg ha^{-1} de K_2O, sua produtividade MEE alcançou 1891 kg ha^{-1} nesta dose de MEE de K_20 (Figura 21).

A resposta de grãos foi de 4,3 kg ha^{-1} por kg ha^{-1} de K_20 aplicado no girassol, existindo uma diferença inferior de 6,1 kg ha^{-1} por kg ha^{-1} de K_2O aplicado, comparando com o experimento de Misiones.

Trabalhos realizados num solo argiloso do município de Campo Mourão, no estado de Paraná, tiveram uma resposta similar ao experimento de Itapúa, sem grandes incrementos na produtividade de grãos, com teores de potássio no solo equivalentes ao seu teor crítico (0,18 $cmol_c$ dm^{-3} de K), equivalente a 70,4 mg dm^{-3} de K extraível no solo, (CASTRO & OLIVEIRA, 2005).

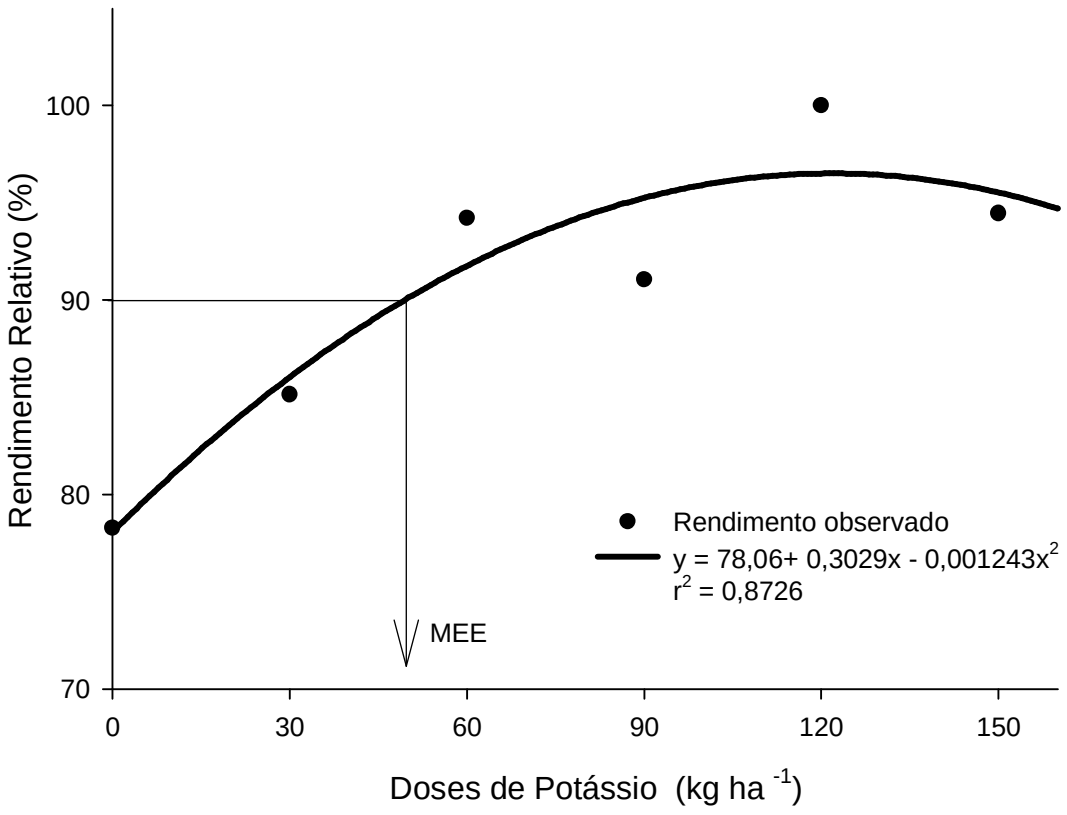


Figura 21. Dose de Máxima Eficiência Econômica (MEE) em função das doses de potássio e do rendimento relativo de grãos do girassol, Itapúa, Paraguai, 2007.

Para os dois experimentos em estudo, foram verificadas produções de grãos superiores aos 2000 kg ha^{-1} -. Para Itapúa, isto foi obtido com a dose 60 kg ha^{-1} de K_2O. No solo de Misiones foi mais responsiva a produtividade em função das doses de potássio aplicadas, sendo que com 30 kg ha^{-1} de K_2O se registrou um rendimento em torno de 2000 kg ha^{-1}.

4.3.3 Determinação do Teor Crítico no solo em função das doses de Potássio

O teor crítico de potássio foi definido como o valor no solo para aproximadamente 90% do rendimento máximo, onde as equações apresentaram melhor ajustamento pelo modelo matemático exponencial de Mitscherlich, onde a equação foi forçada a alcançar o rendimento relativo de 100%.

Tabela 8. Equações de Mitscherlich, coeficiente de determinação, teor crítico do nutriente no solo em função das doses de potássio aplicadas, nos experimentos de Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007.

Experimento	Equação Mitscherlich	Coef. determinação	Teor Crítico K no solo
Misiones	$Y = 100(1-10^{-0,01230*K})$	0,73	81,5 mg dm^{-3}
Itapúa	$Y = 100(1-10^{-0,06621*K})$	0,72	151 mg dm^{-3}
Total	$Y = 100(1-10^{-0,0125*K})$	0,39	88,8 mg dm^{-3}

Para o experimento de Misiones (Figura 22) o teor crítico para potássio foi atingido com 81,5 mg dm^{-3}, correspondendo aos 90 % do rendimento relativo, sendo este teor crítico próximo ao encontrado por Wendling (2005), nos solos responsivos em potássio na Região Oriental do Paraguai, que foi de 75 mg dm^{-3}.

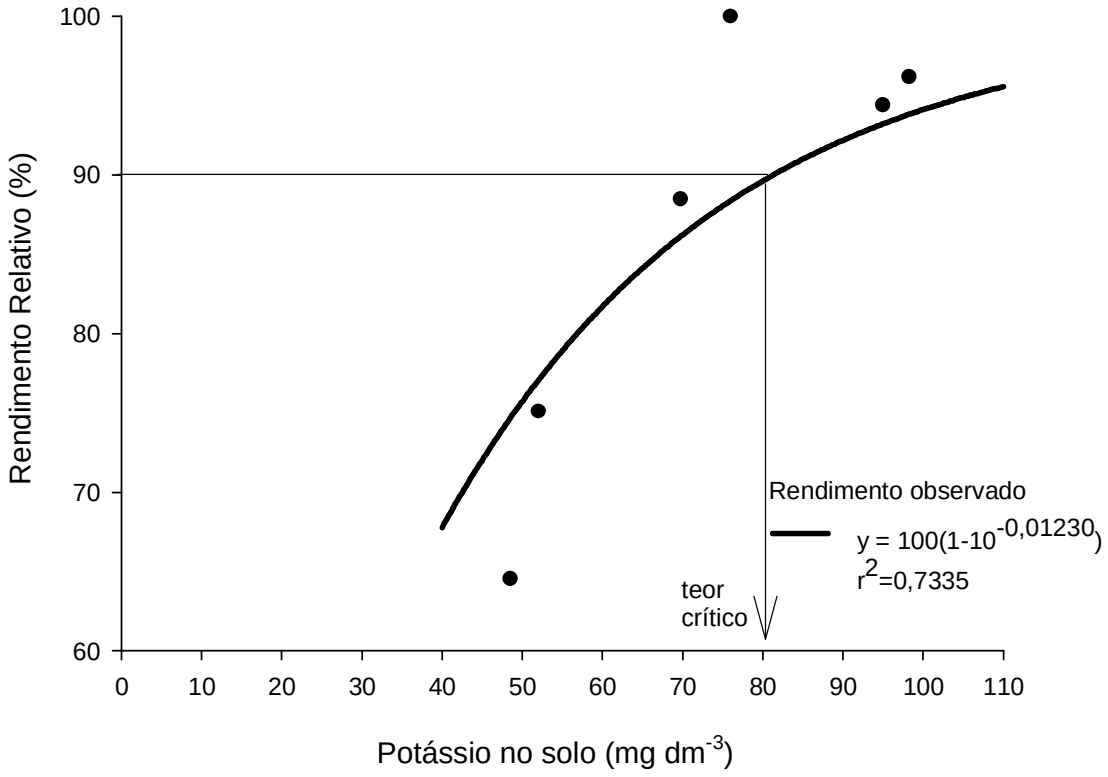


Figura 22. Relação entre potássio extraído pela solução Mehlich I e o rendimento relativo de grãos do girassol, teor crítico encontrado no solo, equação de produção e coeficiente de correlação, em função das doses de potássio aplicado, Misiones, Paraguai,2007.

Analisando os dados obtidos, observou-se uma diminuição considerável do teor de potássio no solo depois da colheita do girassol em comparação com os teores iniciais no solo. Para o experimento de Misiones, com as doses 0, 30, 60, 90 kg ha^{-1} de K_20 obteve-se teores no solo de 48, 52, 70 e 76 mg dm^{-3}, entretanto estas doses ainda diminuíram o teor inicial que foi 92 mg dm-^{3}. A partir das doses de 120 kg ha^{-1} e 150 kg ha^{-1} de K_20 observa-se que houve um acréscimo no teor do solo comparado com o teor inicial no solo, para 95 e 98 mg dm^{-3} de potássio no solo, respectivamente.

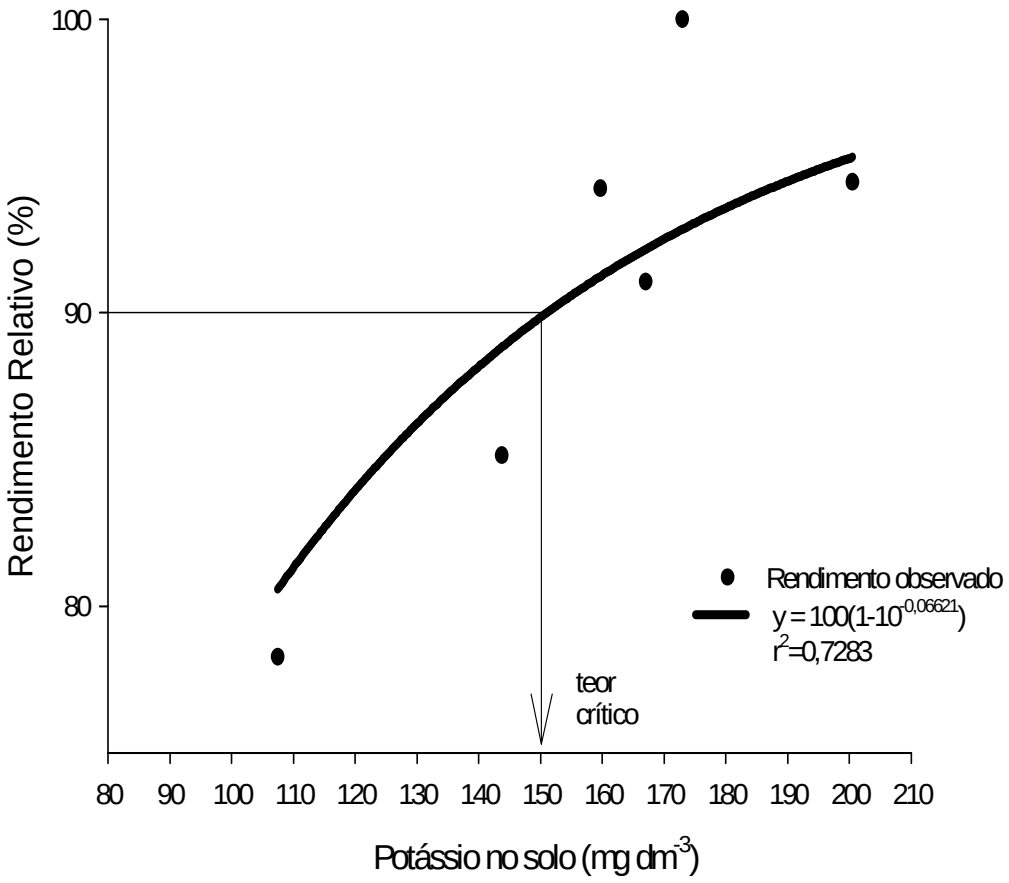


Figura 23. Relação entre potássio extraído pela solução Mehlich I e o rendimento relativo de grãos do girassol, teor crítico encontrado no solo, equação de produção e coeficiente de correlação, em função das doses de potássio aplicado, Itapúa, Paraguai, 2007.

No experimento de Itapúa (Figura 23), foi obtido o teor crítico de 151 mg dm^{-3}, com comportamento similar ao do experimento de Misiones. E foi nas primeiras duas doses de 0 e 30 kg ha^{-1} de K_20 aplicado no solo, onde o teor inicial de 160 mg dm^{-3}, caiu para 107 e 143 mg dm^{-3}. Nas doses seguintes 60, 90, 120, 150 kg ha^{-1} de K_20 aplicado, obtevese teores no

solo iguais ou maiores que o teor inicial com valores de 160, 167, 173, 200 mg dm^{-3} de potássio extraível por Mehlich 1.

Este comportamento pode ser explicado pelas amostragens de solo para análise química, que foram realizadas no dia da colheita de capítulos para medição de produtividade de grãos, sem levar em consideração a ciclagem do nutriente da parte área e raízes que seria um retorno do K ao sistema solo. Segundo Blamey et al, (1997); em torno de 171 kg.ha $^{-1}$ de K_2O é absorvida por tonelada de grãos, e a quantidade que é exportada através dos aquênios na colheita é somente 12 kg ha^{-1} de K_2O por tonelada produzida.

Colocando num gráfico conjuntamente os teores do solo obtidos depois da colheita nos dois experimentos de Misiones e Itapúa, obtêm-se pela equação de Mitscherlich um teor crítico resultante de 88,8 mg dm^{-3}, o qual é inferior aos teores iniciais nos solos para os dois experimentos (Figura 24).

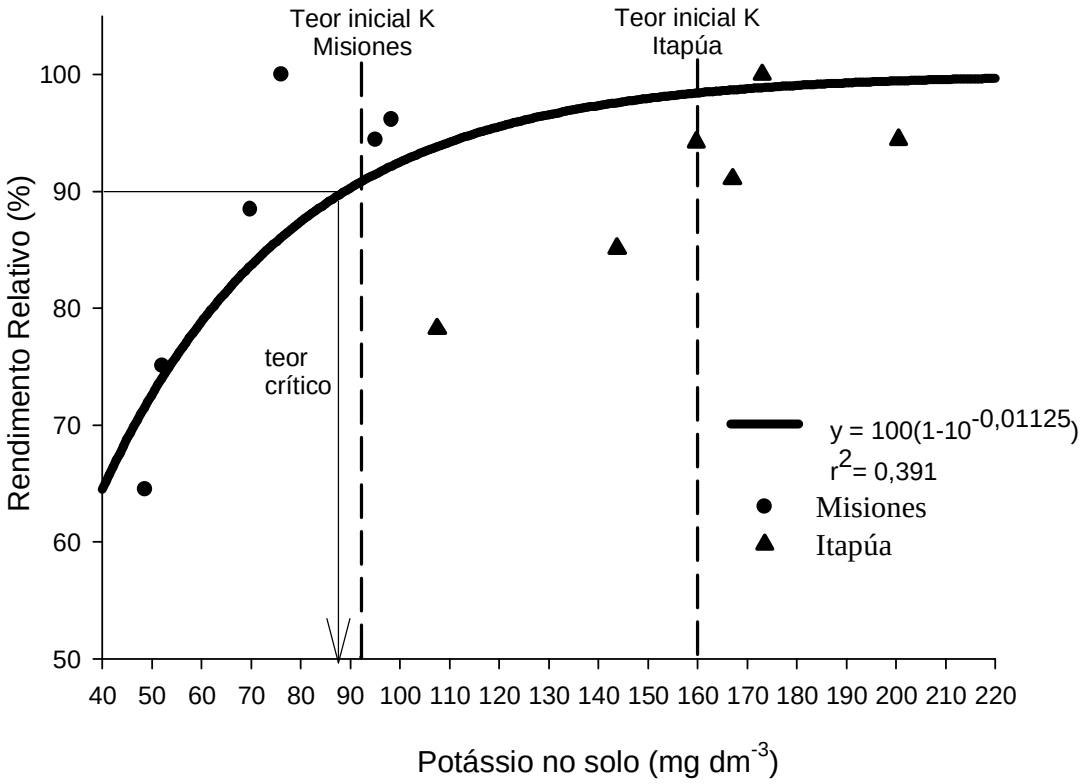


Figura 24. Relação entre potássio extraído pela solução Mehlich I e o rendimento relativo de grãos do girassol, teor crítico e inicial encontrado no solo, equação de produção e coeficiente de correlação, em função das doses de potássio aplicado, Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007.

Nos trabalhos de calibração para adubação potássica realizados no Paraguai para trigo, milho e soja (Wendling, 2005), verificou-se que valores entre 4 a 6 kg ha^{-1} de K_20 são necessários para elevar 1 mg dm^{-3} de K no solo, principalmente nos solos de textura média como Misiones, onde houve uma resposta bem pronunciada na aplicação de K_2O.

No experimento de Misiones para a cultura do girassol, considerando os resultados de potássio no solo da testemunha, houve uma diminuição de 43,5 mg dm^{-3}, sendo seus teores do solo inicial 92 mg dm^{-3} e final 48,5 mg dm^{-3}.

Ao adaptar os dados da absorção de potássio obtido por Blamey et al. (1997), com 1678 kg ha^{-1} que foi o rendimento de grãos da testemunha, o girassol exportaria em torno de 287 kg ha^{-1} de potássio. Este dado, ao relacionar com a diminuição dos teores inicial e final verificados no solo de Misiones, demonstraram uma extração de 6,59 kg ha^{-1} de K por cada mg dm^{-3} diminuído no solo. Fazendo o mesmo cálculo para o solo do experimento de Itapúa, onde a testemunha foi de 1694 kg ha^{-1} de grãos de girassol e a diferença entre teor inicial e final foram de 52,5 mg dm^{-3}, o resultado foi de 5,5 kg ha^{-1} de K extraído por cada mg dm^{-3} diminuído no solo. O comportamento no solo verificado por Wendling (2005), indicaram que foi necessario aplicação de 4 a 6 kg ha^{-1} de K_2O, para elevar um mg dm^{-3} o K no solo, dado que não está muito distante dos verificados para a cultura do girassol, os quais concordam e poderia ser adequado à recomendação existente para correção do solo com potássio na Região Oriental do Paraguai para a cultura do girassol.

Segundo Castro & Oliveira (2005), a interpretação da disponibilidade de potássio e as recomendações de adubação de correção para a cultura do girassol, podem ser orientadas pelos limites estabelecidos para soja e milho, para determinação das classes em condições de baixa até média disponibilidade de K no solo.

4.4 Recomendações preliminares de adubação NPK no girassol

Uma recomendação de adubação tem por objetivo elevar o teor dos nutrientes no solo a níveis considerados adequados para as culturas expressarem seu potencial de rendimento, sempre que não existam outros fatores limitantes como déficit hídrico, doenças, pragas, etc.

A elaboração da recomendação de NPK sob plantio direto para o girassol no Paraguai, foi feita a partir dos dados experimentais e com auxílio da literatura (CASTRO &

OLIVEIRA, 2005; BLAMEY et al, 1997; COMISSÃO, 2004; WENDLING, 2005, CUBILLA, 2005). As indicações de adubação para a cultura de girassol foram elaboradas para uma expectativa de rendimento de grãos de 2000 kg ha^{-1}. Para rendimentos maiores do que o indicado é necessário acrescentar aos valores da tabela, as retiradas pela cultura em função da expectativa de produção que seriam a exportação de nutrientes e eventuais perdas. Para nitrogênio, fósforo e potássio, as exportações por tonelada de grãos são de 24, 12 e 12 kg, respectivamente (BLAMEY, 1997). As perdas são consideradas em torno de 25% no sistema solo-planta (lixiviação, fixação, volatilização), e a partir desses valores calculou-se as doses de manutenção multiplicando-os por fator 1,25. Desta forma as doses de manutenção NPK no girassol ficarão em 30 kg ha^{-1}de N, 15 kg ha^{-1} P_2O_5 e 15 kg ha^{-1} K_20 por tonelada de grãos produzida.

Castro & Oliveira (2005) afirmam que quando não há uma classificação específica de teores de fósforo e potássio para o girassol, pode-se adotar os valores de referência regional, os quais não variam muito com as culturas de verão, especialmente os de milho e soja. Também os dados obtidos nos solos dos experimentos Itapúa e Misiones para o girassol, demonstraram um comportamento similar aos encontrados nos trabalhos de calibração para o Paraguai, concordando com essa afirmação. Porém, neste trabalho, para a realização da recomendação de fósforo e potássio utilizou-se os mesmos teores encontrados na Região Oriental (WENDLING, 2005; CUBILLA, 2005).

Para o fósforo, os teores no solo se classificaram em duas classes, influenciadas pela textura do solo. O teor crítico para solos de 410-600 g kg^{-1} de argila (Classe 1) foi de 12 mg dm^{-3}. Com esse dado dividiu-se os teores em muito baixo (0-4 mg $dm^{-3)}$; baixo (4,1-8 mg dm^{-3}); médio (8,1 -12 mg dm^{-3}); alto (12,1 – 24 mg dm^{-3}) e muito alto (maior que 24 mg dm^{-3}); e para solos de 210 a 400 g kg^{-1} de argila (Classe 2) o teor crítico foi de 15 mg dm^{-3}, sendo dividido em muito baixo (0-5 mg dm^{-3}), baixo (5,1-10 mg dm^{-3}); médio (10,1 -15 mg dm^{-3}); alto (15,1 – 30 mg dm^{-3}), e muito alto (maior que 30 mg dm^{-3}).

Para potássio, as classes de fertilidade no solo são muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, que correspondem respectivamente a menos de 25, de 26 a 50, de 51 a 75, de 76 a 150 e maior que 150 mg dm^{-3} de K no solo, determinado pelo método Mehlich 1.

A proposta de adubação em nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) para a cultura do girassol sob plantio direto, são descritas para os teores correspondentes nos solos de Paraguai (Tabela 9).

Tabela 9. Indicação preliminar de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio para a cultura de girassol, sob sistema plantio direto no Paraguai,2007.

Teor de Potássio no solo	Teor de fósforo no solo				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
	Produtividade esperada 2000 kg ha^{-1}				
	[1 2 3] N - P_2O_5 - K_20 (kg ha^{-1})				
	N N N P K	N N N P K	N N N P K	N N N P K	N N N P K
Muito Baixo	[1]30 [2]45 [3]60 – 90 – 120	[1]30 [2]45 [3]60 – 70 - 120	[1]30 [2]45 [3]60 – 50 - 120	[1]30 [2]45 [3]60 – 35 - 120	[1]30 [2]45 [3]60 – 20 - 120
Baixo	[1]30 [2]45 [3]60 – 90 - 90	[1]30 [2]45 [3]60 – 70 – 90	[1]30 [2]45 [3]60 – 50 – 90	[1]30 [2]45 [3]60 – 35 – 90	[1]30 [2]45 [3]60 – 20 - 90
Médio	[1]30 [2]45 [3]60 – 90 - 60	[1]30 [2]45 [3]60 – 70 – 60	[1]30 [2]45 [3]60 – 50 – 60	[1]30 [2]45 [3]60 – 35 – 60	[1]30 [2]45 [3]60 – 20 - 60
Alto	[1]30 [2]45 [3]60 – 90 - 45	[1]30 [2]45 [3]60 – 70 - 45	[1]30 [2]45 [3]60 – 50 – 45	[1]30 [2]45 [3]60 – 35 – 45	[1]30 [2]45 [3]60 – 20 - 45
Muito Alto	[1]30 [2]45 [3]60 – 90 - 30	[1]30 [2]45 [3]60 – 70 - 30	[1]30 [2]45 [3]60 – 50 - 30	[1]30 [2]45 [3]60 – 35 - 30	[1]30 [2]45 [3]60 – 20 - 30

[1]N = >3 % matéria orgânica; [2]N = 2-3 % matéria orgânica; [3]N = <2 % matéria orgânica . Aplicar 2/3 de N em cobertura 35 dias após emergência.

Observações : Produtividade esperada 2000 kg ha^{-1} de grãos (para maiores expectativas de rendimento, adicionar NPK 30-15-15 kg ha^{-1} por tonelada adicional de grãos a ser produzida).

A recomendação para adubação nitrogenada foi elaborada levando em conta o teor de matéria orgânica no solo e dividida em três teores: para o teor menor que 2 % de matéria orgânica a indicação de adubação com N derivou em 60 kg ha^{-1}; entre 2 e 3 % de matéria orgânica a recomendação diminuiu para 45 kg ha^{-1} de N; e no teor maior que 3 % de matéria orgânica no solo foi 30 kg ha^{-1} de N (Tabela 8).

No Brasil há recomendações para adubação nitrogenada para girassol em diversos estados, para o Estado de Minas Gerais (COMISSÃO, 1989), recomenda-se a aplicação de 60 kg ha^{-1} de N. Para o Estado de São Paulo (QUAGGIO & UNGARO, 1997), indica-se aplicações de 50 kg ha^{-1} de N, distribuídas 10 kg ha^{-1} em base e 40 kg ha^{-1} de N em cobertura . No Manual de Adubação e de Calagem para os Estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004), elaborado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (RS-SC), recomenda-se adubação para o girassol, sendo a adubação nitrogenada baseada no teor de matéria orgânica existente no solo com expectativa de 2 toneladas de grãos por hectare, sendo para o teores menores que 2,5 % de 60 kg ha^{-1} de N, entre 2,6 e 5 % de matéria orgânica a recomendação diminuiu para 40 kg ha^{-1} de N e para teores maiores que 5 % de matéria orgânica no solo corresponde a 30 kg ha^{-1} de N.

Na tabela 8, observa-se que as doses de P_20_5 na recomendação para o girassol foram feitas de acordo com os teores de fósforo no solo, em doses decrescentes desde níveis de fertilidade muito baixo até muito alto, que forem de 90, 70, 50, 35 e 20 kg ha^{-1} de P_20_5, respectivamente.

No Estado de São Paulo, indicam a aplicação de 20 a 70 kg ha^{-1} de P_20_5, dependendo do teor de P na análise de solo (QUAGGIO & UNGARO, 1997). Para o Estado de Paraná, os melhores resultados se verificaram com doses entre 40 e 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 (CASTRO, et al 1993). E no Estado de Minas Gerais, para o cultivo de girassol, recomenda-se a aplicação de 30 a 70 kg ha^{-1}, com base no teor do nutriente no solo (COMISSÃO, 1989).

Para o potássio, a tabela preliminar elaborada para recomendação de adubação na cultura do girassol para o Paraguai, também indica as adubações de acordo com o teor deste nutriente no solo, variando respectivamente em doses decrescentes desde muito baixo até muito alto, sendo as recomendações 120, 90, 60, 45 e 30 kg ha^{-1} de K_2O (Tabela 8).

As recomendações existentes no Brasil para potássio na cultura do girassol não diferem em grande proporção com os resultados encontrados neste trabalho, além de que para o Paraguai são indicadas doses mais altas de K_2O em teores baixos e muito baixos no solo, visando assegurar o suprimento da necessidade da planta para a produção de 2000 kg ha^{-1} de grãos.

O Manual de Adubação e de Calagem para os Estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina, apresentam uma recomendação que é realizada de acordo com os teores deste nutriente disponíveis no solo, enquadrados em faixas de disponibilidade. Para os teores de baixo e alto as recomendações variam de 30 até 70 kg ha^{-1} de K_2O para expectativa de produtividade de 2 t ha^{-1} (COMISSÃO, 2004).

Para o Estado de Minas Gerais, também se recomenda entre 30 e 70 kg ha^{-1} de K_2O, dependendo da faixa de disponibilidade de K na análise do solo (COMISSÃO, 1989).

Quaggio & Ungaro (1997) indicam para o Estado de São Paulo, também dependendo do teor do K na análise de solo, aplicações de 20 até 60 kg ha^{-1} de K_2O.

4.5 Adaptação da cultura do girassol nas calibrações sob plantio direto no Paraguai.

Com os resultados semelhantes entre os experimentos de Itapúa e Misiones e os trabalhos de calibração para Paraguai em trigo, soja e milho, referentes às extrações no solo em fósforo e potássio, acredita-se que existe a possibilidade de adaptar as doses de correção de solo feitas por Wendling (2005) e Cubilla (2005) para a cultura do girassol, adicionando a dose de manutenção e com algumas observações principalmente para potássio (conforme Tabela 10), o qual é o nutriente que o girassol extrai em grande quantidade, comparando com outras culturas como milho e soja, respectivamente.

Tabela 10. Recomendação de potássio para as principais culturas de grãos sob plantio direto no Paraguai.

Recomendação para três culturas em sucessão				
	1^0 cultivo	2^0 cultivo	3^0 cultivo	Total
Classe	Kg ha^{-1} de K_2O			
Muito baixo	150	100	60 *	310
Baixo	90	60	40*	190
Médio	60*	M	M	60 + 2 M
Alto	M	M	M	3 M
Muito Alto	R	R	R	3 R

* Girassol depois da correção.

M= (taxa de exportação + perdas), para girassol 15 kg ha^{-1} por tonelada de grãos.

R= (exportação da cultura), para girassol 12 kg ha^{-1} por tonelada de grãos.

Na tabela 10 de recomendação de potássio, ao adicionar o girassol no sistema de três cultivos, recomenda-se (nos teores de solo muito baixo, baixo, e médio) a implantação da cultura do girassol depois da correção, para garantir o suprimento da necessidade de potássio da cultura, sendo necessários para sua produção 171 kg de potássio por tonelada de grãos.

Cubilla (2005), para as recomendações de correções de solo em fósforo nas principais culturas de grãos no Paraguai sob plantio direto, baseou-se em teores no solo, sendo para muito baixo 200 kg ha^{-1}, para baixo 110 kg ha^{-1}, e para médio 25 kg ha $^{-1}$ de P_2O_5.

De acordo aos dados obtidos neste trabalho para fósforo, houve similaridade de resposta em grãos de girassol para os solos em estudo, comparando com os dados encontrados em milho, trigo e soja sob plantio direto no Paraguai.

O girassol para ser adicionado no sistema de recomendação de adubação de correção em sucessão de culturas (Tabela 11), considerando sua exportação de fósforo correspondente a uma tonelada de grãos, que alcança 12 kg ha^{-1}. Para sua manutenção, corresponderá a 15 kg ha^{-1} de P_2O_5, que se somariam às doses de correções apenas quando o teor do solo se encontra em médio, baixo e muito baixo.

Tabela 11. Recomendação de fósforo para as principais culturas de grãos sob plantio direto no Paraguai.

	Recomendação para três culturas em sucessão.		
	1º cultivo	2º cultivo	3º cultivo
Classe	----------kg ha^{-1} de P_2O_5 ----------		
Muito baixo	100 + M	70 + M	30 + M
Baixo	50 + M	30 + M	20 + M
Médio	25 + M	M	M
Alto	M	M	M
Muito alto	R	R	R

M= (taxa de exportação + perdas), para girassol 15 kg ha-1 por tonelada de grãos.

R= (exportação da cultura), para girassol 12 kg ha-1 por tonelada de grãos.

Esta adição do girassol no sistema de rotação de três culturas é importante, pois a área de produção da cultura está se expandindo em grande escala nos últimos anos no Paraguai. Entretanto, o produtor poderá realizar uma correção de seus solos baseado numa rotação de culturas, além de que economicamente seja distribuído pelas três culturas o custo da aplicação do fertilizante para correção.

5 CONCLUSÕES

As doses de máxima eficiência econômica para nitrogênio aplicado foram influenciadas pelo teor de matéria orgânica inicial no solo, sendo obtido 57 kg ha $^{-1}$ de N para Misiones e 48 kg ha^{-1} de N para Itapúa, para produtividade em torno de 2.200 kg ha^{-1} de grãos de girassol.

Doses de P_2O_5 entre 40 kg ha^{-1} e 80 kg ha^{-1} foram suficientes para superar 2.000 kg ha^{-1} de grãos; sendo as maiores doses para solos com maior teor de argila e teores baixos de fósforo no solo.

Para potássio houve uma maior resposta para os solos arenosos de Misiones, alcançando produtividade de até 2600 kg ha^{-1} de grãos. Com doses entre 45 kg ha^{-1} e 60 kg ha^{-1} de K_2O se alcançaram produtividade em torno de 2000 kg ha^{-1}.

Para a cultura do girassol o teor crítico de fósforo para Itapúa (solos de 410 a 600 g kg^{-1} de argila, classe 1) foi de 14,4 mg dm^{-3} e para Misiones (solos de 210 a 400 g kg^{-1} de argila, classe 2) foi de 15,5 mg dm^{-3}. Para potássio o teor crítico encontrado na cultura de girassol foi de 81,5 mg dm^{-3}.

A recomendação nitrogenada foi baseada de acordo ao teor de matéria orgânica no solo para expectativa de 2000 kg ha^{-1} grãos, abaixo que 2 % de matéria orgânica no solo recomenda-se 60 kg ha^{-1} de N, entre 2 e 3 % recomenda-se 45 kg ha^{-1} de N e acima que 3 % recomenda-se 30 kg ha^{-1} de N.

As recomendações de adubação fosfatada para expectativa de 2000 kg ha^{-1} grãos de girassol nas respectivas classes de fertilidade de fósforo que são “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “alto” e “muito alto”, correspondem a 90, 70, 50, 35 e 20 kg ha^{-1} de P_20_5 respectivamente.

Para adubação potássica com expectativa de 2000 kg ha^{-1} grãos de girassol, são também desde a classe de fertilidade muito baixo até muito alto, sendo as recomendações 120, 90, 60, 45 e 30 kg ha^{-1} de K_2O, respectivamente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLAMEY, F. P. C.; EDWARDS, D. G.; ASHER, C. J. **Nutritional disorders of sunflower. Brisbane:** University of Queensland, 1987. 72 p.

BORKERT, C.M.; SFREDO, G.J.; FARIAS, J.R.B.;CASTRO, C. de; SPOLADORI, C.L.; TUDIDA, F. Efeito residual da adubação potássica sobre girassol e milho em três diferentes Latossolos Roxos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.12, 1997. p.1227-1234.

CALAGEM e adubação. In: REUNIÃO DA COMISSÃO CENTRO-SUL BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 20., 2005, Londrina. **Informações técnicas da Comissão Centro Sul Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale para a safra de 2005**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p.29-41(Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 7).

CAPECO – **Camara Paraguaya de Exportadores de Cereales y Oleaginosas**, 2007. Site internet, www.capeco.org.py.

CARVALHO, D. V.; PISSAIA, A.; Cobertura nitrogenada em girassol sob plantio direto na palha : Rendimento de grãos e seus componentes, índice de colheita e teor de óleo. **Scientia Agraria,** v.3, n.1-2, p.41-45, 2002.

CASTIGLIONI, V.B.R.; BALLA, A.; CASTRO, C.; SILVEIRA, J.M. **Fases de desenvolvimento da planta de girassol.** Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 1994. 24p. (Documentos, 58).

CASTRO, C. de; BALLA, A.; CASTIGLIONI, V.B.R.; SILVEIRA, J.M.; OLIVEIRA M.C.N.de; SFREDO, G.J. Fertilização N, P e K em girassol. In: Reunião Nacional de Girassol, 10., 1993, Goiânia. **Resumos...** Campinas: IAC,1993. p.47.

CASTRO,C. de; LANTMANN, A.F.; SFREDO, G.J.; BORKET, C.M.; SILVEIRA, J.M. In: **Resultados de pesquisa da EMBRAPA Soja**, 2003: girassol. Londrina: Embrapa Soja, 2004. p. 19-27.(Embrapa Soja. Documentos 242)

CASTRO, C.; CASTIGLIONI, V.B.R.; BALLA, A. et al. **A cultura do girassol.** Londrina: Embrapa-CNPSo, 1997. 36p. (Circular Técnica, 13).

CASTRO, C., BALLA, A., CASTIGLIONI, V. B. R. et al. Levels and methods of nitrogen supply for sunflower. **Sci. agric.** [online]. Oct./Dec. 1999, vol.56, no.4, p.827-833.

CASTRO, C; de OLIVEIRA, F. A. **Nutrição e adubação do girassol.** In : LEITE, R. M. V. B. de C.;BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed.). Girassol no Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p. 317-373.

CASTRO, C.; BOUCAS FARIAS J.R. **Ecofisiologia do girassol**.In : LEITE, R. M. V. B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed.). Girassol no Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p. 163-218.

COELHO, A.M.; FRANCA, G.E. de.; PITTA, G.V.E.; ALVES, V.M.C.; HERNANI, L.C. **Nutrição e adubação de milho.** In: CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A.; RODRIGUEZ FILHO, A.; COELHO, A.M.; KARAM, D.; SANTAN, D.P.; MANTOVANI, E.C.; FERNANDEZ, F.T.; AVELAR, G. de. Cultivo do milho. Sete Lagoas: Embrapa milho e sorgo, 2005. Disponível em : www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/feraduba.htm. Acesso em 12 janeiro 2007.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 2. ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul: EMBRAPA/CNPT, 1989. 128p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 3. ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul: EMBRAPA/CNPT, 1995. 224p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2004. 394p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 4ª aproximação. Lavras, 1989. p.122.

CORREA, M. **Rendimientos de híbridos de girasol em el Departamento de Itapúa**. 2005 (No Prelo).

EMBRAPA. **Correção e manutenção da fertilidade do solo.** In: TECNOLOGIAS de produção de soja– região central do Brasil. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste: Fundação Meridional, 2004. p 57-80 (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 6).

CUBILLA, M. M. C. **Calibração visando recomendações de fertilização fosfatada para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai** / 2005. 97 f. Mestrado em Ciência do Solo – Universidade Federal de Santa Maria.

DÍAZ-ZORITA, M. **Fertilización del girasol,** Buenos Aires: INTA, 1995. 14p (Publicación Técnica,17).

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** EMBRAPA. 1999. 412p.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Foreign Agicultural Service.Oilseeds: world market and trade. Washington: USDA, 2005. 28 p. (USDA, Circular serie, FOP 08-05) Disponível em:www.fas.usda.gov/oilseeds/circular/2005/05-08/FULL05Aug.pdf

FATECHA, A. **Guía para la fertilización de cultivos anuales e perennes de la región oriental del Paraguay.** Ministerio de Agricultura y Ganadería, Subsecretaria de Estado de Agricultura, Dirección de Investigación Agrícola. Caacupe, Paraguay, 1999.

FATECHA, D.A**. Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la región oriental del Paraguay.** Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Tesis como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. San Lorenzo, Paraguay, 2004.

HECKLER, J.C. Sorgo e girassol no outono-inverno, em sistema plantio direto, no Mato Grosso do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v.32, p.517-520, 2002.

HOCKING, P.J.; STEER, B.T. Uptake and partitioning of selected mineral elements in sunflower (*Helianthus annus L*) during growth. **Field Crops Research,** v.6, 1983, p.93-107.

JANSEN, A.E. **Impacto ambiental del uso de herbicidas en siembra directa.** MAG-GTZ. .Proyecto Conservación de Suelos .San Lorenzo, Paraguay, 1999, 43p.

KOPPEN W. **Walter de Gruyter Publishers**, Berlín, Germany. 1931, 338p.

LARCHER, W**. Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000. 531p.

LAZARATO, J.; ROESSING A.C., MELLO H.C. **O agronegócio do girassol no mundo e no Brasil.** In : LEITE, R. M. V. B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed.). Girassol no Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p. 15-42.

LÓPEZ, O. E.; GONZALEZ, E.; DE LLAMAS, P.A.; MOLINAS, A.S.; FRANCO, E.S.; GARCIA, S.; RIOS, E. **Reconocimiento de Suelos y Capacidad de Uso de las Tierras; Región Oriental. Paraguay.** MAG /Dirección de Ordenamiento Ambiental. Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra. Convenio 3445 P.A– Banco Mundial, 1995. 28 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo, Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2.ed. Piracicaba Potafos, 1997, 319p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ceres, 2006. 638p.

MANUAL de adubação e calagem para cultivos agrícolas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Trigo e Soja**, Porto Alegre, v.56, 1981, p.1-34.

MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.; BOHNEN, H. **Métodos de análise do Laboratório de Análise de solo** In: Recomendações de adubo e calcário para as principais culturas do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS, 1969. 39p. (Boletim Técnico, 2)

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA (MAG). El Sector Agropecuario y Forestal en Cífras - **Boletin Nº 5** - Dirección General de Planificación (DGP).2007. 99p.

QUAGGIO, J. A.; UNGARO, M. R. G. Girassol. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.**). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de SãoPaulo.** Campinas: IAC, 1997. p. 198.

RAIJ, B.van. **Avaliação da fertilidade do solo**. POTAFOS, Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, Piracicaba, 1981.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Ceres: Potafos, 1991, 343p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.L. **Recomendação de adubação e de calagem para o estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

SANTOS, H. P. dos; REIS, E.M. **Rotação de culturas em plantio direto.** Passo Fundo:Embrapa Trigo, 2001. 212 p.

SCHLINDWEIN, J.A. **Calibração de métodos de determinação e estimativa de doses de fósforo e potássio em solos sob sistema plantio direto.** Porto Alegre – UFRGS, 2003. 169f. Tese doutorado.

SCHNEITER, A.A. & MILLER J.F.. Description of sunflower growth stages. 1981. **Crop Sci.** 21:901-903.

SFREDO, G.J; CAMPO, R.J.; SARRUGE, J.R. **Girassol: nutrição mineral e adubação.** Londrina: Embrapa-CNPSo, 1984. 36p. (Embrapa-CNPSo. Circular técnica, 8).

SIQUEIRA, O.J.F. de; SCHERER, E.E.; TASSINARI, G. et al. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Passo Fundo: EMBRAPA/CNPT, 1987. 100p.

SIQUEIRA, O.J.F. de; SCHERER, E.E.; TASSINARI, G. et al. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Passo Fundo: EMBRAPA/CNPT, 1987. 100p.

SMIDERLE, O.J.; GIANLUPPI, D.; GIANLUPPI, V. **Adubação nitrogenada, espaçamento e épocas de semeadura no girassol nos Cerrados de Roraima.** In: Embrapa. Resultados de pesquisa da Embrapa Soja – 2001: girassol e trigo. Londrina: Embrapa Soja, 2002. p. 24-29.(Embrapa Soja. Documentos, 199)

SMIDERLE, O.J.; GIANLUPPI, D.; GIANLUPPI, V. **Adubação nitrogenada, espaçamento e épocas de semeadura no girassol nos Cerrados de Roraima.** In: Embrapa. Resultados de pesquisa da Embrapa Soja – 2002: girassol e trigo. Londrina: Embrapa Soja, 2003. p. 33-39.(Embrapa Soja. Documentos, 218)

SMIDERLE, O.J.; MOURÃO JÚNIOR, M.; GIANLUPPI, D.; CASTRO C. de**. Adubação nitrogenada do girassol nos Cerrados de Roraima.** Boa Vista: Embrapa Roraima, 2004. 7p.(Embrapa Roraima. Comunicado Técnico, 8).

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** 2 ed. Porto Alegre: UFRGS/Departamento de Solos, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TREZZI, M.M.; SILVA, P.R.F; ROCHA, A.B. Sistemas de cultivo de milho em consorcio de substituição e em sucessão a girassol. **Ciência Rural**, v.24,n.3, 1994, p.495-499.

UNGER, P.W. Sunflower. In:STEWART, B. A.; NIELSEN, D.R.(Ed.). Irrigation of agricultural crops. **Madison: American Society of Agronomy**, 1990. 775-794 p.(Agronomy, 30).

UNGARO, M.R.G. **Cultura do girassol.** Campinas, Instituto Agronômico, 2000 .36p.

UNGARO, M. R. G., NOGUEIRA, S. S. S.; NAGAI, V. Physiological parameters, grain and dry matter yield of sunflower cultivated in different sowing dates. **Bragantia**, 2000, vol.59, no.2, p.205-211. ISSN 0006-8705.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Faculdade de Agronomia. Departamento de Solos. **Tabelas de adubação corretiva e adubação de manutenção para os solos e culturas dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Porto Alegre, 1973. 11p. (Boletim Técnico).

USDA. **Keys to soil taxonomy.** 1998. eighth ed. 328 p.

VRANCEANU, A.V. **El girasol**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1977. 379p.

WENDLING, A. **Recomendação de Nitrogênio e Potássio para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai** / 2005. 123 f. Mestrado em Ciência do Solo – Universidade Federal de Santa Maria.

7. ANEXOS

Anexo 1. Rendimento de grãos em função das aplicações de nitrogênio no girassol, por tratamento e média, Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007.

	Misiones				
Tratamentos	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média
	Rendimento de grãos (kg ha^{-1})				
N1 (0 kg ha^{-1})	1498	1435	1547	1386	1467
N2 (25kg ha^{-1})	2009	1624	1848	1652	1783
N3 (50 kg ha^{-1})	2114	2009	2177	1953	2063
N4 (75 kg ha^{-1})	2653	2331	2391	2387	2441
N5 (100 kg ha^{-1})	2275	2436	2527	2422	2415
N6 (125 kg ha^{-1})	2394	2478	2219	2499	2398

	Itapúa				
Tratamentos	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média
	Rendimento de grãos (kg ha^{-1})				
N1 (0 kg ha^{-1})	1357	1285	1613	961	1304
N2 (25kg ha^{-1})	1520	2075	1873	1634	1776
N3 (50 kg ha^{-1})	2327	2461	2344	2268	2350
N4 (75 kg ha^{-1})	2554	2587	2459	1957	2389
N5 (100 kg ha^{-1})	2470	2411	2671	2755	2335
N6 (125 kg ha^{-1})	2553	2587	2330	2243	2428

Anexo 2. Rendimento de grãos em função das aplicações de fósforo (P_2O_5) no girassol, por tratamento e média, Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007.

	Misiones				
Tratamentos	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média
	Rendimento de grãos (kg ha^{-1})				
P1 (0 kg ha^{-1})	1953	1582	1876	1757	1792
P2(40 kg ha^{-1})	2345	2177	1974	2058	2139
P3 (80 kg ha^{-1})	2226	2072	2671	2366	2334
P4(120 kg ha^{-1})	2520	2387	2086	2345	2335
P5(160 kg ha^{-1})	2408	2114	2751	2226	2375
P6(200 kg ha^{-1})	2530	2499	2359	2460	2462

	Itapúa				
Tratamentos	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média
	Rendimento de grãos (kg ha^{-1})				
P1 (0 kg ha^{-1})	949	1100	1361	1067	1119
P2(40 kg ha^{-1})	1510	1638	1613	1554	1579
P3 (80 kg ha^{-1})	2329	1911	1865	1982	2022
P4(120 kg ha^{-1})	2276	2176	2407	2243	2275
P5(160 kg ha^{-1})	2318	2335	2340	2457	2363
P6(200 kg ha^{-1})	2302	2499	2159	2385	2336

Anexo 3. Rendimento de grãos em função das aplicações de potássio (K_2O) no girassol, por tratamento e média, Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007.

	Misiones				
Tratamentos	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média
	Rendimento de grãos (kg ha^{-1})				
K1 (0 kg ha^{-1})	1631	1645	1659	1778	1678
K2 (30 kg ha^{-1})	1848	1806	2114	2044	1953
K3 (60 kg ha^{-1})	2961	1841	2016	2387	2301
K4 (90 kg ha^{-1})	2905	2394	2639	2464	2601
K5 (120 kg ha^{-1})	2548	2310	2534	2429	2455
K6 (150 kg ha^{-1})	2170	2345	2898	2590	2501

	Itapúa				
Tratamentos	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média
	Rendimento de grãos (kg ha^{-1})				
K1 (0 kg ha^{-1})	2032	1545	1562	1638	1694
K2 (30 kg ha^{-1})	1869	1856	1747	1898	1843
K3 (60 kg ha^{-1})	2092	1915	1951	2201	2040
K4 (90 kg ha^{-1})	1953	2041	1898	1991	1971
K5 (120 kg ha^{-1})	2035	2037	2344	2243	2165
K6 (150 kg ha^{-1})	2008	2012	2008	2150	2044

Anexo 4. Teores de fósforo no solo (Mehlich 1) por tratamento, para Misiones e Itapúa, após colheita dos experimentos, Paraguai, 2007.

			Misiones		
Tratamentos	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média
			mg dm^{-3}		
P1 (0 kg ha^{-1})	8.0	11.5	9.7	8.8	9.5
P2(40 kg ha^{-1})	10.5	12.3	11.5	15.0	12.3
P3 (80 kg ha^{-1})	19.5	15.8	18.5	17.5	17.8
P4(120 kg ha^{-1})	30.0	37.7	23.2	22.3	28.3
P5(160 kg ha^{-1})	42.8	37.7	23.2	22.3	31.5
P6(200 kg ha^{-1})	53.5	69.5	53.5	47.8	56.1
			Itapúa		
Tratamentos	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média
			mg dm^{-3}		
P1 (0 kg ha^{-1})	4.0	5.5	4.0	4.8	4.6
P2(40 kg ha^{-1})	12.3	12.3	4.0	7.2	9.0
P3 (80 kg ha^{-1})	11.5	6.3	9.7	17.5	11.3
P4(120 kg ha^{-1})	17.5	12.3	8.0	16.3	13.5
P5(160 kg ha^{-1})	21.3	11.5	8.8	18.5	15.0
P6(200 kg ha^{-1})	12.3	26.0	44.2	9.7	23.1

Anexo 5. Teores de potássio no solo (Mehlich 1) por tratamento para Misiones e Itapúa, após colheita dos experimentos, Paraguai, 2007.

			Misiones		
Tratamentos	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média
			mg dm^{-3}		
K1 (0 kg ha^{-1})	38	38	55	63	48.5
K2 (30 kg ha^{-1})	51	53	49	55	52
K3 (60 kg ha^{-1})	74	75	69	61	69.75
K4 (90 kg ha^{-1})	58	86	67	93	76
K5 (120 kg ha^{-1})	111	93	76	100	95
K6 (150 kg ha^{-1})	102	103	91	97	98.25

			Itapúa		
Tratamentos	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média
			mg dm^{-3}		
K1 (0 kg ha^{-1})	98	109	118	105	107.5
K2 (30 kg ha^{-1})	143	174	108	150	143.75
K3 (60 kg ha^{-1})	155	153	162	169	159.75
K4 (90 kg ha^{-1})	158	174	180	156	167
K5 (120 kg ha^{-1})	171	175	164	182	173
K6 (150 kg ha^{-1})	199	203	198	202	200.5

Anexo 6. Resultados de análise no solo para pH água 1:1, para cada tratamento, Misiones e Itapúa, após colheita dos experimentos, Paraguai, 2007.

	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
Tratamentos	Itapúa	Misiones	Itapúa	Misiones	Itapúa	Misiones	Itapúa	Misiones
N1	5,1	4,6	5,3	4,6	5,4	4,5	5,1	4,6
N2	5,1	4,6	5,4	5,1	5,5	4,5	5,1	4,6
N3	5,1	4,5	5,1	4,7	5,1	4,4	4,9	4,5
N4	5,1	4,6	5,3	4,7	5,1	4,4	5,1	4,5
N5	5,1	4,4	5	5,1	5,2	4,5	5,1	4,5
N6	5,1	5	5,4	4,4	5,2	4,3	4,9	4,2
P1	5,3	4,6	5,4	5,4	5,1	4,2	5,1	4,7
P2	5,1	4,5	5,5	4,8	5,2	4,6	4,9	4,8
P3	5,1	4,6	5,4	4,6	5,1	4,6	5,4	4,5
P4	5,2	5,1	5,2	5,2	5,4	4,4	5	4,8
P5	5,3	4,9	5,2	4,8	5,5	4,4	5,1	4,6
P6	5,2	4,4	5,2	4,8	5,5	4,4	5,1	4,6
K1	5,1	5,0	5,5	5,3	5,2	4,2	5,2	4,9
K2	5	5,2	5,8	4,8	5	4,6	5,5	5
K3	5,2	4,6	5,3	5	5,2	4,3	5,5	5,3
K4	5,3	4,5	5,5	5	5,4	4,5	5,4	5
K5	5,2	4,7	5,3	5,9	5,1	4,3	5,1	5,3
K6	5,3	4,7	5,3	5,3	5,2	4,3	5,5	5,4

Anexo 7. Resultados de análise no solo para Cálcio (Ca), para cada tratamento, Misiones e Itapúa, após a colheita dos experimentos, Paraguai, 2007.

	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
	..... $cmol_c\ dm^{-3}$							
Tratamentos	Itapúa	Misiones	Itapúa	Misiones	Itapúa	Misiones	Itapúa	Misiones
N1	7,58	2,79	7,03	2,56	7,88	2,73	6,16	3,15
N2	7,03	3,06	9,19	3,61	8,06	3,15	6,52	2,10
N3	7,77	2,73	8,25	2,73	7,48	2,17	6,63	2,73
N4	7,68	3,26	7,53	2,42	7,47	2,32	6,86	2,28
N5	7,12	2,84	7,81	2,88	7,66	2,28	8,32	2,17
N6	8,08	3,58	8,22	2,53	7,48	2,10	6,22	2,32
P1	8,05	2,54	8,67	3,3	7,06	1,75	7,56	1,95
P2	6,78	2,22	8,20	2,70	7,05	2,31	6,81	2,84
P3	8,18	2,61	8,24	2,26	6,25	2,32	8,26	2,31
P4	8,34	3,37	7,26	3,37	8,28	1,95	6,92	2,72
P5	7,21	3,16	8,50	3,03	7,80	2,84	7,82	1,75
P6	8,58	2,54	7,34	3,08	9,22	2,72	8,20	2,32
K1	7,20	3,26	7,51	3,31	7,83	2,1	7,92	1,90
K2	8,44	3,82	8,05	2,84	6,97	2,26	9,08	2,29
K3	7,90	2,84	8,48	3,50	7,24	1,90	8,52	2,26
K4	7,80	2,53	10,44	2,65	8,5	3,26	7,89	2,1
K5	6,56	2,12	8,94	4,35	6,74	1,96	7,40	3,26
K6	7,38	2,32	7,99	3,67	7,51	2,29	8,49	1,96

Anexo 8. Resultados de análise no solo para Magnésio (Mg), para cada tratamento, Misiones e Itapúa, após a colheita dos experimentos, Paraguai, 2007.

	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4	
	..... $cmol_c\ dm^{-3}$							
Tratamentos	Itapúa	Misiones	Itapúa	Misiones	Itapúa	Misiones	Itapúa	Misiones
N1	3,08	2,72	2,92	2,62	2,96	3,36	2,96	3,33
N2	2,87	2,65	3,18	2,91	2,65	3,49	2,44	2,67
N3	3,10	2,48	3,21	2,30	2,67	2,24	2,65	3,18
N4	3,02	2,86	2,94	2,03	2,85	3,00	3,22	3,66
N5	2,99	2,42	2,80	1,89	3,01	2,51	2,41	2,20
N6	3,17	2,18	3,05	2,00	2,89	2,37	2,61	2,13
P1	3,12	2,31	2,97	2,67	3,24	2,04	3,04	2,60
P2	2,76	2,42	2,93	2,28	2,82	2,77	2,84	3,25
P3	3,12	2,17	2,80	2,14	2,63	2,53	2,95	2,40
P4	3,24	2,79	2,43	2,40	3,21	2,28	2,78	2,95
P5	2,85	2,48	3,02	2,30	3,79	3,10	2,85	2,17
P6	3,29	2,48	2,72	2,61	2,89	3,04	2,91	2,61
K1	2,64	2,49	3,01	3,18	2,38	2,57	2,71	2,67
K2	3,05	2,59	2,73	2,19	2,95	2,27	2,66	3,39
K3	3,03	2,45	3,12	3,15	3,18	2,42	2,88	3,31
K4	3,01	2,18	3,19	2,46	2,84	3,69	2,93	2,67
K5	2,78	2,14	3,01	2,36	2,26	2,33	2,62	3,16
K6	2,79	1,98	2,74	2,83	2,82	2,71	3,14	2,70

Anexo 9 . Precipitação mensal total em milímetros nos meses dos experimentos do girassol, Misiones e Itapúa, Paraguai, 2006.

Local	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total
			milímetros			
Misiones	109,2	87	237	195	68,8	697
Itapúa	138,8	126	220	194	279	957,8

Fonte : DINAC – Dirección de Meteorologia e Hidrologia (2007).

Anexo 10. Precipitações totais anuais em milímetros, Misiones e Itapúa.

Local	2001	2002	2003	2004	2005	2006
				milímetros		
Misiones	1520	2181	1271	483	1053	1486
Itapúa	1578,8	2310,4	1651,2	945,1	1249,5	1554,8

Fonte : DINAC – Dirección de Meteorologia e Hidrologia (2007).

Anexo 11. Características químicas iniciais no solo, Misiones e Itapúa, Paraguai, 2006.

Características químicas	Misiones	Itapúa
pH água 1:1	5,4	5,7
Cálcio (Ca)	2 $cmol_c$ dm^{-3}	6$cmol_c$ dm^{-3}
Magnésio (Mg)	0,7 $cmol_c$ dm^{-3}	0,8 $cmol_c$ dm^{-3}
Alumínio (Al)	0,2 $cmol_c$ dm^{-3}	0 $cmol_c$ dm^{-3}
Hidrogênio + Alumínio (H + Al)	3,5$cmol_c$ dm^{-3}	3,9 $cmol_c$ dm^{-3}
$CTC_{efetiva}$	3,1 $cmol_c$ dm^{-3}	7,3 $cmol_c$ dm^{-3}
Saturação de Alumínio	6 %	0 %
Saturação de Bases	46 %	65 %
Matéria Orgânica m/v	1,8 %	2,9 %
Argila m/v	20 %	60 %
Fósforo Mehlich (P)	10,9 mg dm^{-3}	4,5 mg dm^{-3}
CTC_{pH7}	6,4 $cmol_c$ dm^{-3}	11,2 $cmol_c$ dm^{-3}
Potássio (K)	92 mg dm^{-3}	160 mg dm^{-3}

Anexo 12. Análise de significância dos rendimentos de grãos em função das doses de nitrogênio, fósforo e potássio dos experimentos em Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007.

Experimento	Nutriente	Equação	Significância	Coef. Variação
Misiones	Nitrogênio	$Y = 1427 + 18,25N - 0,08266N^2$	*	4,01
Itapúa	Nitrogênio	$Y = 1311 + 24,12N - 0,1259N^2$	*	5,99
Misiones	Fósforo	$Y = 1835 + 7,176P - 0,0214P^2$	**	3,36
Itapúa	Fósforo	$Y = 1099 + 14,81P - 0,043P^2$	*	1,59
Misiones	Potássio	$Y = 1640 + 14,92K - 0,06191K^2$	*	4,39
Itapúa	Potassio	$Y = 1635 + 6,56K - 0,0269K^2$	**	3,93

* Significativo a 1%, ** Significativo a 5%, NS Não significativo.

Anexo 13. Análise de significância do rendimento relativo de graos em função dos teores de fósforo e potássio no solo, dos experimentos em Misiones e Itapúa, Paraguai, 2007.

Experimento	Nutriente	Equação	Significância
Misiones	Fósforo	$Y = 100(1-10^{-0,06419*P})$	*
Itapúa	Fósforo	$Y = 100(1-10^{-0,06932*P})$	*
Misiones e Itapúa	Fósforo	$Y = 100(1-10^{-0,06768*P})$	*
Itapúa	Potássio	$Y = 100(1-10^{-0,01230*K})$	*
Misiones	Potássio	$Y = 100(1-10^{-0,06621*K})$	*
Misiones e Itapúa	Potassio	$Y = 100(1-10^{-0,0125*K})$	*

* Significativo a 1%, ** Significativo a 5%, NS Não significativo.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo