

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DOS SOLOS DOS
DEPARTAMENTOS DE MISIONES, ITAPÚA E ALTO
PARANÁ - PARAGUAI**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Roberto Willian John

Santa Maria, RS, Brasil

2014

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DOS SOLOS DOS
DEPARTAMENTOS DE MISIONES, ITAPÚA E ALTO
PARANÁ - PARAGUAI**

Roberto Willian John

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Área de Concentração Tecnologias em Agricultura de Precisão, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão.**

Orientador: Prof. Elódio Sebem

Santa Maria, RS, Brasil

2014

Willian John, Roberto

Atributos Químicos dos Solos dos Departamentos de Misiones, Itapúa e Alto Paraná - Paraguai / Roberto Willian John.-2014.
48 p.; 30cm

Orientador: Elódio Sebem

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2014

1. Fertilidade do Solo 2. Necessidade de Calcário 3. Agricultura de Precisão
I. Sebem, Elódio II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Roberto Willian John. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Expedicionário Almeida, 1480 - CEP 97.400-000 - Centro - São Pedro do Sul.

E-mail: betto_john@hotmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Colégio Politécnico
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão**

**A comissão examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DOS SOLOS DOS DEPARTAMENTOS
DE MISIONES, ITAPÚA E ALTO PARANÁ - PARAGUAI**

Elaborada por
Roberto Willian John

como requisito parcial para obtenção de grau de
Mestre em Agricultura de Precisão

COMISSÃO EXAMINADORA:

Elódio Sebem, Dr.
(Presidente/Orientador)

Enrique Oswin Hahn Villalba, Dr. (SUSTENTAP)

Luciano Zucuni Pes, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 28 de Janeiro de 2014.

“A luz que tu levas para alguém vai iluminar-te também”

Dedico este trabalho a minha noiva Mariane Brezolin, pelo carinho, apoio e incentivo, minha companheira inseparável das várias dificuldades e das muitas felicidades, homenagem nenhuma alcançará o quanto te admiro e o quanto sou agradecido por ter-te em minha vida.

“Eu te amo... somente pelo simples fato de você existir”

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, o grande arquiteto de tudo em nossas vidas.

Aos meus pais Eudócio e Elenita pelo dom da vida, pelo exemplo de retidão e caráter, por terem sempre apoiado em todos os momentos e por ter me proporcionado a maior de todas as virtudes, ser um homem de família.

A minha filha Lara, um amor sem tamanho, mas quem as dificuldades da vida insistem em nos manter afastados.

A minha irmã Débora, pela oportunidade de ser teu irmão, e me espelhar na tua força de vontade, garra, e poder de transformação em vista a cada necessidade que a vida apresenta.

Meu cunhado Hélio e minhas sobrinhas Thabata e Sarah, obrigado por fazerem parte da minha vida.

Ao meu sogro “Chico” Brezolin, que estando longe da minha família me permitiu fazer parte da sua vida como um filho.

Ao “ermão” Guilherme Richter Amado “chapada”, pela amizade, ouvidos e cervejas, valeu “cumpadre”.

Aos colegas de mestrado pelo tempo de convivência e troca de experiências, um dos grandes ganhos nesta empreitada.

A Sustentap, nas pessoas de Ramiro Samaniego e Enrique Hahn, pela acolhida, confiança e a abertura das portas da empresa para que o trabalho pudesse ser concluído.

A Adriana Arnold e sua equipe do Laboratório de Geomática, pela ajuda na pesquisa dos dados, o meu muito obrigado.

A UFSM pelo acesso ao conhecimento.

Ao Colégio Politécnico da UFSM e a PPGAP, meus agradecimentos e meus parabéns pela coragem e empreendedorismo de ser o primeiro Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão do Brasil.

Ao Juliano, secretário da PPGAP, pelo interesse e rapidez em tudo que se precisou da secretaria.

E Finalmente, porém não menos importante, Ao meu orientador, Professor Elódio Sebem, pela paciência, firmeza, disponibilidade e interesse no aluno e no curso, o meu muito obrigado por acreditar, não desistir e fazer tudo acontecer.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão
Universidade Federal de Santa Maria

ATRIBUTOS QUÍMICOS DOS SOLOS DOS DEPARTAMENTOS DE MISIONES, ITAPÚA E ALTO PARANÁ - PARAGUAI

AUTOR: Roberto Willian John
ORIENTADOR: Elódio Sebem
Santa Maria, 28 de Janeiro de 2014.

A Agricultura de Precisão (AP) é considerada ferramenta importante para manejo da agricultura moderna e as recomendações de fertilização apoiadas na tecnologia têm como principal finalidade facilitar e auxiliar na tomada de decisão nos processos de aplicação de fertilizantes. O objetivo deste trabalho foi fazer um diagnóstico da fertilidade dos solos de uma parte da Região Oriental do Paraguai, segundo os níveis de matéria orgânica, fósforo, potássio e pH, mostrando a sua variabilidade, o que demonstra a viabilidade do uso da ferramenta AP nas áreas estudadas. Como objetivo secundário, estimou-se a necessidade de aplicação de calcário agrícola para a região estudada. Classificaram-se 11.130 amostras de solo pertencentes à empresa "Sustentap Agricultura de Precisão" em 5 classes de fertilidade (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto) adaptados dos dados de calibrações regionais utilizados na "Cooperativa Colônias Unidas" (Paraguai). Das amostras que compõem o estudo, as principais limitações de fertilidade encontradas foram a matéria orgânica nos Departamentos de Misiones com 98,12% e Itapúa com 74,27% das amostras nas classes média, baixa e muito baixa; potássio no Departamento de Misiones, com 94,85% das amostras em nível baixo ou muito baixo; fósforo nos Departamentos de Itapúa com 67,02% das amostras em níveis baixos ou muito baixos e Alto Paraná com 79,46% se concentrando em níveis muito baixo, baixo e médio; pH apresentou no Departamento de Misiones 98,63% das amostras com níveis baixos ou muito baixos e no Departamento de Alto Paraná com um total de 83,71% das amostras abaixo do nível médio. Referente a aplicação de calcário agrícola para elevação do pH a níveis ideais a necessidade foi de 1,68, 1,71 e 1,56 Mg ha⁻¹ para os Departamentos de Misiones, Alto Paraná e Itapúa, respectivamente. Comprova-se assim que o custo da fertilização com aplicação à taxa variável é menor que o custo de fertilização com aplicação a taxa média fixa.

Palavras-chave: Fertilidade do solo. Necessidade de calcário. Agricultura de precisão.

ABSTRACT

Master Thesis
Post Graduation Program in Precision Agriculture
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

SOIL CHEMICALS ATRIBUTTES OF THE DEPARTAMENTOS OF MISIONES, ITAPÚA AND ALTO PARANÁ - PARAGUAI

AUTHOR: Roberto Willian John

ADVISOR: Elódio Sebem

Santa Maria, January, 28th, 2014.

The Precision Agriculture (PA) is considered an important tool for management of modern agriculture and fertilization recommendations supported on this tecnology whose main purpose assist in decision making processes in fertilizer application. The objective of this work was to make a diagnosis of soil fertility in Eastern Region of Paraguay , according to the levels of organic matter, phosphorus, potassium and pH . As a secondary objective , we estimated the need for application of agricultural lime for the studied region. Were classified 11,130 soil samples belonging to the firm "Sustentap Agricultura de Precisão" in 5 classes of Fertility (Very Low, Low, Medium, High and Very High) adapted the regional calibration data used in "Cooperativa Colônias Unidas" (Paraguay). Samples belonging to the study , the main limitations of fertility were found to Organic Matter in the Departments of Misiones with 98.12 % and 74.27 % in Itapúa with the samples in Medium, Low and Very Low classes; Potassium in the Department of Misiones, with 94.85 % of the samples to Low or Very Low ; Phosphorus in the Department of Itapúa with 67.02 % of the samples in Low or Very Low and Alto Paraná with 79.46 % levels focusing on levels Very Low, Low and Medium; pH presented at the Department of Misiones 98.63 % of the samples with levels Low or Very Low and the Department of Alto Parana with a total of 83.71 % of the samples below Medium level . Concerning the application of agricultural lime to increase the pH to optimum levels the need was 1.68, 1.71 and 1.56 Mg ha⁻¹ for the Departments of Misiones, Alto Paraná and Itapúa respectively. It is verified so that the cost of fertilization application to the variable rate is lower than the cost of applying the fertilizer with fixed average rate.

Key words: Soil fertility. Need for limestone. Precision agriculture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.	Reações químicas do solo de neutralização da acidez.....	21
Figura 2.	Relação existente entre pH do solo e a disponibilidade de nutrientes para as plantas.....	22
Figura 3.	Distribuição dos pontos amostrados nos Departamentos de Misiones, Itapúa e Alto Paraná. (Fonte: Autor).....	25
Figura 4.	Localização dos pontos de amostragem no Departamento de Misiones. (Fonte: Autor).....	28
Figura 5.	Classificação da matéria orgânica (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Misiones. (Fonte: Autor).....	29
Figura 6.	Classificação do fósforo (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Misiones. (Fonte: Autor).....	30
Figura 7.	Classificação do potássio (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Misiones. (Fonte: Autor).....	30
Figura 8.	Classificação do pH (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Misiones. (Fonte: Autor).....	31
Figura 9.	Total de amostras por nível de saturação de bases para o Departamento de Misiones.....	32
Figura 10.	Localização dos pontos de amostragem no Departamento de Itapúa. (Fonte: Autor).....	33
Figura 11.	Classificação da matéria orgânica (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Itapúa. (Fonte: Autor).....	34
Figura 12.	Classificação do fósforo (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Itapúa. (Fonte: Autor).....	35
Figura 13.	Classificação do potássio (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Itapúa. (Fonte: Autor).....	35
Figura 14.	Classificação do pH (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Itapúa. (Fonte: Autor).....	36
Figura 15.	Total de amostras por nível de saturação de bases para o Departamento de Itapúa.	37
Figura 16.	Localização dos pontos de amostragem no Departamento de Alto Paraná.	39
Figura 17.	Classificação da matéria orgânica (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Alto Paraná. (Fonte: Autor).....	40
Figura 18.	Classificação do fósforo (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Alto Paraná. (Fonte: Autor).....	40
Figura 19.	Classificação do potássio (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Alto Paraná. (Fonte: Autor).....	41

Figura 20. Classificação do pH (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Alto Paraná. (Fonte: Autor).....	42
Figura 21. Total de amostras por nível de saturação de bases no Departamento de Alto Paraná.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Valores dos parâmetros utilizados para a classificação de níveis de fertilidade da camada superficial do solo.....	26
Tabela 2.	Valores dos parâmetros utilizados para a classificação de níveis de Saturação e Bases para aplicação de calcário agrícola.....	27
Tabela 3.	Classificação da fertilidade da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Misiones.	29
Tabela 4.	Necessidade de calcário agrícola para os níveis de Saturação de Base no Departamento de Misiones.	32
Tabela 5.	Classificação da fertilidade da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Itapúa.	34
Tabela 6.	Necessidade de calcário agrícola do solo para os níveis de saturação de bases do Departamento de Itapúa.	37
Tabela 7.	Classificação da fertilidade da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Alto Paraná.	38
Tabela 8.	Necessidade de calcário agrícola do solo para os níveis de saturação de bases no Departamento de Alto Paraná.	42
Tabela 9.	Necessidade média e total de calcário agrícola e o custo de aplicação pela média e a taxa variada.....	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Situação da fertilidade dos solos da Região Oriental do Paraguai	16
2.2 Fertilidade dos solos e fertilização	17
2.3 Acidez do solo, calcário e calagem	19
2.4 Cálculo da necessidade de calcário agrícola	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Descrição geral da área de estudo	24
3.2 Geração da base de dados	26
3.3 Classificação da fertilidade da camada superficial do solo	26
3.4 Necessidade de calcário agrícola	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 Departamento de Misiones	28
4.1.1 Classe de fertilidade	28
4.1.2 Necessidade de calcário agrícola.....	31
4.2 Departamento de Itapúa	33
4.2.1 Classe de fertilidade	33
4.2.2 Necessidade de calcário agrícola.....	36
4.3 Departamento de Alto Paraná	38
4.3.1 Classe de fertilidade	38
4.3.2 Necessidade de calcário agrícola.....	42
4.4 Necessidade de calcário e seus custos associados	43
5 CONCLUSÕES	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1 INTRODUÇÃO

No Paraguai, com uma extensão de 406.753 km², se desenvolvem vários setores, sendo o agropecuário o mais importante em termos de produção, exportação e empregos, constituindo a base da economia do país. A maior parte da Região Oriental do Paraguai (39% do território nacional) possui boas condições para o desenvolvimento deste setor.

Na atualidade, os recursos naturais que compõem a região estão sendo afetados por graves problemas de degradação, consequência da pressão sobre eles para satisfazer as necessidades, ocasionando perdas de florestas, contaminação de nascentes de água e, o aumento da erosão hídrica, cujo impacto se evidencia na diminuição da fertilidade da camada superficial dos solos.

Estes problemas vem acentuando-se com o manejo inadequado dos solos, dando pouco impulso à introdução de novas tecnologias, utilizando práticas não sustentáveis na agricultura paraguaia, priorizando-se a mecanização e uso de fertilizantes inorgânicos.

Assim mesmo, a aplicação de calcário agrícola e a utilização de técnicas conservacionistas têm sido pouco praticadas no país, que junto com outros fatores citados anteriormente tem ocasionado a compactação e predomínio de terras ácidas na região, que influem sobremaneira na produção agropecuária.

Nos últimos anos, se tem evidenciado a diminuição da fertilidade dos solos da região e em consequência a redução do rendimento dos cultivos, que em muitos casos tem ocasionado a migração de produtores rurais para grandes cidades, assim como a habitação de novas terras de cultivo, a partir de áreas florestais, muitas vezes sem observar-se a aptidão das mesmas.

Por tais motivos, o presente trabalho pretende estudar a classificação da fertilidade (matéria orgânica, fósforo e potássio) da camada superficial dos solos, a acidez ativa (pH) e a necessidade de calcário agrícola de três Departamentos da Região Oriental do Paraguai – Misiones, Itapúa e Alto Paraná, de maneira que as informações geradas sirvam de base para a implementação de planos de manejo de solos no setor agropecuário nesta região e a aplicação da agricultura de precisão.

Os resultados obtidos serão de interesse para profissionais engenheiros agrônomos, engenheiros florestais, engenheiros agrícolas e afins às ciências agrárias e ambientais, assim como para os políticos responsáveis pelas tomadas de decisões.

Consideramos que o conhecimento da variabilidade dos solos dos Departamentos Paraguaiois estudados demonstrará aos interessados que a Agricultura de Precisão por meio de aplicações em taxas variadas de insumos tornar-se-á ferramenta indispensável para o aumento da produtividade da região.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Agrupar, analisar e classificar resultados de análises de solos do ano agrícola de 2011-2012 contidos nos arquivos da empresa Sustenlab S.A. Consultoria de Precisão.
- Estudar os níveis de fertilidade do solo da matéria orgânica, o fósforo disponível, potássio e pH (acidez ativa).
- Estimar a necessidade de fósforo, potássio e calcário agrícola para a correção do solos assim como o custo destas correções.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Situação da fertilidade dos solos da Região Oriental do Paraguai

Segundo MAG-IICA (2003) os departamentos cujas terras apresentam menores limitações de fertilidade são Alto Paraná e Itapúa, com solos de fertilidade média a alta, permitindo seu total aproveitamento, seguido por Caaguazú, San Pedro, Concepción, Amambay e Canindeyú. Os solos com maiores limitações para a exploração agrícola são os departamentos de Cordillera e Paraguairí, por estar excessivamente desgastados e como consequência, baixa fertilidade. Os solos de Guairá e Caazapá têm solos regularmente aptos para o cultivo, assim como Misiones e Ñeembucú que predominam as terras baixas e pantanosas, sendo apenas por volta de 20% a fração cultivável.

Florentín et al.(2001) sustenta que as áreas agrícolas da Região Oriental do Paraguai estão localizadas sobre dois tipos de solos: arenosos derivados de areniscas e os argilosos provenientes do basalto, que apesar de possuir uma fertilidade muito superior aos arenosos, apresentam as mesmas tendências de desgaste com o transcorrer dos anos, quando são manejados em sistema convencional.

Florentín et al. (2001) igualmente identificam os sistemas produtivos nas pequenas propriedades da Região Oriental do Paraguai em três zonas principais: de solos arenosos mediantemente férteis (7 a 10 anos de uso), contendo um valor de matéria orgânica de 1,2%; que se encontram nos Departamento de San Pedro, Caaguazú e Caazapá; solos arenosos muito degradados (mais de 15 anos de uso) com menos de 1% de matéria orgânica, geralmente compactados, localizados principalmente nos Departamentos de Paraguairí, Central, Cordillera e Guairá; e solos Argilosos com média a alta fertilidade, com matéria orgânica de 2 a 3%, localizados nos Departamentos de Alto Paraná e Itapúa. Também se encontram zonas de transição com características de solo intermediarias nos Departamentos de Misiones, Ñeembucú e Canindeyú.

Por sua parte Sorrenson, et al. (2001) sustentam que os Departamentos de Paraguairí, Guairá, Cordillera e Central apresentam mais de 90% de solos deteriorados de acordo com a sua superfície cultivada, o que faz supor que existe baixa reciclagem de nutrientes durante a decomposição de matéria orgânica e baixa atividade biológica.

Fatecha (1999) afirma que nos solos da Região Oriental do Paraguai a disponibilidade de nutrientes obedece a seguinte ordem (de menor para maior): fósforo, nitrogênio, cálcio, magnésio e potássio entre os macronutrientes; cobre e zinco entre os micronutrientes.

2.2 Fertilidade dos solos e fertilização

Um solo fértil é aquele que contém em quantidades suficientes e balanceados, todos os nutrientes essenciais, em formas assimiláveis pelas plantas. Deve estar livre de elementos tóxicos e possuir propriedades físicas e químicas adequadas (MALAVOLTA, 1976).

Na natureza, estão à disposição das plantas, quase todos os elementos da tabela periódica. Uma simples análise química de um vegetal não funcionaria para determinar quais destes elementos são essenciais, pois a planta pode absorver e armazenar em seus tecidos muitos elementos que não lhe são essenciais. É necessário determinar os nutrientes de acordo com um critério de essencialidade. A maneira mais comum de se determinar a essencialidade de um elemento às plantas é através de experimentos com soluções nutritivas preparadas com água e sais purificados. Assim, pode-se omitir os elementos da solução um a um, podendo ser classificados como essenciais os que atendam aos seguintes critérios (MALAVOLTA, et al. 1999; MALAVOLTA, 2006):

i) Na ausência do elemento a planta não cresce normalmente nem completa o seu ciclo de vida, ou seja, não se desenvolve corretamente e não se reproduz; ii) O elemento é insubstituível, ou seja, deficiência só pode ser corrigida através do seu fornecimento e não de algum outro. iii) O elemento químico faz parte de uma molécula, de um constituinte ou de uma reação bioquímica essencial à planta. As quantidades demandadas de cada nutriente são variáveis, mas todos eles são igualmente importantes. Entretanto, para fins didáticos, os elementos essenciais podem ser assim classificados: **Macronutrientes:** Os macronutrientes são os elementos básicos necessários em maior volume às plantas. São eles: Carbono, Oxigênio, Hidrogênio - retirados do ar e da água - e Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Enxofre retirados do solo, sob condições naturais. **Micronutrientes:** Os micronutrientes são requeridos em pequenas quantidades, de miligramas (um milésimo do grama) a microgramas (um milionésimo do grama). São micronutrientes o Boro, Cloro, Cobre, Ferro, Manganês, Molibdênio, Cobalto, Níquel e Zinco (MALAVOLTA, et al. 1999; MALAVOLTA, 2006).

Atualmente, estão ficando escassas as superfícies que suportam processos produtivos. Por tal motivo, Mello et al. (1988) alegam que a fertilidade é importante porque a mesma constitui um fator primordial nas formas de vida animal e vegetal. Além disso, afirma que a

mesma é a aptidão de produzir colheitas abundantes, existindo três tipos: primária ou natural, potencial ou atualmente efetiva e econômica.

Primavesi (1988) menciona que os solos de clima subtropical apresentam baixos níveis de cálcio, magnésio e potássio e que possuem grandes quantidades de óxidos de ferro e alumínio, minerais que são fixadores de fósforo, o que limita sua disponibilidade para as plantas.

Fertilização é a adição de elementos considerados nutrientes ao solo, que a planta necessita para seu desenvolvimento, com a finalidade de obter colheitas compensadoras de produtos de boa qualidade nutritiva ou industrial, provocando um mínimo impacto no meio ambiente, tendo em conta a planta, solo e o fertilizante (Mello et al., 1988).

De acordo com Acosta (2000), os adubos orgânicos utilizados no Paraguai são o esterco bovino, o húmus, a cama de aviário, a farinha de ossos, as cinzas entre outros. Entre os inorgânicos se encontram as combinações de NPK, 4-30-10, 0-18-0, 10-20-10, superfostato triplo (SPT), fosfato di-amônico (DAP) e a uréia, dos quais 95% provém do Brasil e o restante do Uruguai, Espanha e Peru, segundo expressado por Mussili et al. (1997).

Os fertilizantes são geralmente aplicados seja em forma manual e/ou mecânica: à lanço, em faixas, em linhas, em aplicações foliares e em sistema de ferti-irrigação (MALAVOLTA & PERES, 1975).

O incremento da demanda de fertilizantes está diretamente relacionado à superfície de cultivos semeados, sendo a soja, trigo, frutícolas e as hortaliças os que apresentam maior necessidade. Segundo os últimos dados obtidos, o consumo de fertilizantes se contra em $107.000 \text{ Mg/ano}^{-1}$, mas na realidade o volume é muito mais alto, devido a grande quantidade dos mesmos que ingressam no Paraguai em forma de contrabando, estimando-se um valor ao redor de $180.000 \text{ Mg/ano}^{-1}$ (MUSULLI et al., 1997).

Os adubos verdes são plantas que se cultivam para promover a cobertura do solo e melhorar as características físicas, químicas e biológicas do mesmo, e conseqüentemente a fertilidade. Florentín et al. (2001) aconselham a utilização de espécies de verão nos solos muito degradados, por apresentar maior rusticidade e maior produção de biomassa, entre as quais se podem citar a crotalaria juncea (*Crotalaria juncea* L.), mucuna cinza (*Mucuna pruriens*) entre outras.

2.3 Acidez do solo, calcário e calagem

A acidez é um processo natural que se verifica em solos derivados de basaltos, granitos e outros materiais de origem, e constitui um dos principais inconvenientes na agricultura em países tropicais e subtropicais. Existem dois tipos: a ativa ou atual, causada por íons hidrogênios; e a potencial ou de reserva causada por $Al^{+3} + H^+$ (JORGE, 1969).

A acidez do solo afeta significativamente as características químicas, físicas e biológicas do solo e a nutrição das plantas. A concentração de íons de H^+ presente na solução dos solos tropicais naturais (sem a interferência humana) é alta, cujos valores de pH situam-se na faixa de pH 4,0 a 5,0. A presença de H^+ não constitui transtorno para as plantas. Entretanto, em valores de pH inferior a 5,5 aparecerá o Al Trocável, o qual causará sérios danos as plantas cultivadas não adaptadas a solos ácidos (soja, milho, cevada fumo, citrus, etc.). (REICHERT, et al. 2009).

Conforme Malavolta, 1976, um solo ácido é aquele que se encontra com pH inferior a 6, estando abaixo deste pH problemas afetam o desenvolvimento normal da maioria dos cultivos, limitando seu crescimento e a consequente solubilização de elementos tóxicos, tais como alumínio, ferro e o manganês.

Fatecha & Lopez (1998) mencionam que o processo de acidificação dos solos no Paraguai se dá quando a média de precipitação anual é maior do que a média de evapotranspiração anual, o que provoca um processo de lixiviação das bases do solo. Além disso, a extração pelas colheitas sucessivas, o uso indiscriminado de fertilizantes químicos e a escassa utilização da ferramenta calcário agrícola, contribuem para acentuar este processo.

Lopez et al. (1996) comentam que na Região Oriental do Paraguai o nível de pH varia de 3,5 a 8,6 pela variedade dos solos, com o predomínio de terras ácidas e que 4.765.000ha são suscetíveis a acidificação pelas condições atuais de uso. Segundo Derpsch e Florentín (2000), um dos fatores que condiciona a disponibilidade de nutrientes é o pH (acidez ativa), porque aqueles solos fortemente ácidos ($pH < 5,0$) apresentam baixos níveis de macro e micronutrientes essenciais.

Neste contexto, González (1995) sustenta que os solos mais afetados por acidificação no Paraguai são os solos basálticos, que localizam-se em Itapúa, Alto Paraná, Canindeyú até Amambay, assim como parcialmente em Caazapá, Guairá e Caaguazú.

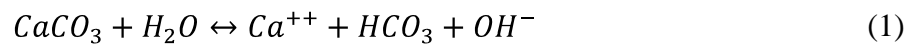
Para a obtenção do calcário agrícola no Paraguai, se formaram três unidades favoráveis para a acumulação de depósitos de rocha calcárea; os grupos sedimentares

Itapucumí e Ramos, nos Departamentos de Concepción e Paraguairí respectivamente; a formação sedimentar de Tacuary, no Departamento de Caaguazú; e as magmáticas mesozóicas do grupo Alto Paraná, nos Departamentos de Amambay e Concepción (WIENS et al., 1995).

A estimativa da produção de calcário agrícola foi de aproximadamente 45.000 a 60.000Mg em 1994, cobrindo apenas 25% da demanda deste mesmo ano. Os tipos de calcário que se encontram no Paraguai são o calcítico e o dolomítico, com valores de PRNT que estão entre 90 a 106%. As principais empresas que produzem são a Industria Nacional do Cimento, Calfertil S.R.L., Calera Cachimbo, Acepar, Pa'i Pucú, Godoy Calera, Agrical, Norteño S.A., Concremix, entre outras (WIENS et al., 1995).

O uso do calcário é uma pratica de manejo de solo cuja função principal é a redução da acidez, neutralizando o alumínio intercambiável, eliminando o efeito tóxico de alguns elementos e favorecendo a disponibilidade de nutrientes essenciais. A aplicação pode ser realizada a lanço ou nos sulcos com implementos manuais a tração animal ou mecânica (FATECHA, 1999).

Nos processos de neutralização da acidez do solo na aplicação de carbonato de cálcio, pode se observar as seguintes reações (MELLO, et al. 1998):



Os mesmos mostram que o óxido (OH-) e o bicarbonato (HCO3-) reagem com o hidrogênio (H+) formando água (H2O) e anidrido carbônico (CO2) respectivamente, este último perdendo-se na atmosfera. Então, a neutralização de um solo pode ser representada conforme a Figura 1 (MELLO, et al. 1998):

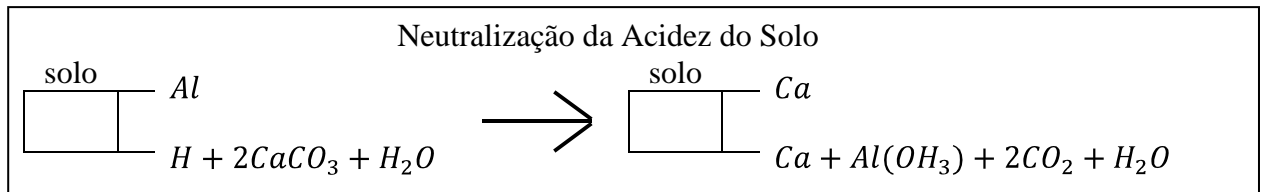


Figura 1. Reações químicas do solo de neutralização da acidez.

O calcário agrícola neutraliza a acidez representada por $Al^{+3} + H^{+}$ onde o Al é precipitado com Al (OH)₃ e as posições de troca ocupados pelas bases de câmbio (MELLO et al., 1998).

González (1995) assinala que a calagem corrige o pH do solo, aporta cálcio principalmente e magnésio em menor proporção como nutrientes para as plantas, mas não possui elementos primários (nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre), nem elementos secundários. Portanto calcário agrícola não é considerado fertilizante químico, mas está ligado intimamente ao mesmo, porque modifica o pH do solo, o qual condiciona a disponibilidade de nutrientes, como mostra a figura 2.

Mediante experiências laboratoriais e de ensaios à nível de campo, Fatecha & López (1998) afirmam que os cultivos agrícolas que requerem uma maior aplicação de calcário e cuja produtividade depende do grau de acidez do solo são as leguminosas em geral, o trigo, o milho, sorgo, cana de açúcar, algodão, frutíferas em geral, mandioca e o arroz de sequeiro.

Fatecha & López (1998), igualmente, alegam que as zonas mais críticas enquanto as necessidades de calcário agrícola são as Centro Leste, Leste e Sudeste da Região Oriental (Amambay, Alto Paraná, Itapúa, Canindeyú, parte leste de Caaguazú e Caazapá), por serem zonas cujos solos são derivados de rochas basálticas, apresentando maior suscetibilidade a uma forte acidificação; portanto necessitam maior quantidade de calcário agrícola. Os mesmo autores certificam que os solos derivados de arenitos são pouco exigentes e o uso de calcário é mais para repor as bases do solo que foram arrastadas ou lixiviadas. Ao mesmo tempo nas condições de uso atual do solo na Região Oriental do Paraguai, estimam que a quantidade necessária de calcário agrícola para tal região é de aproximadamente 2.000.000 toneladas por ano.

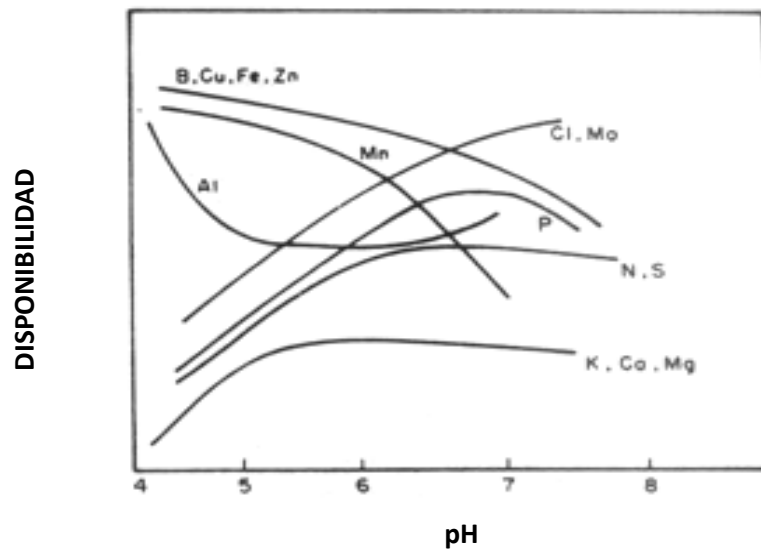


Figura 2. Relação existente entre pH do solo e a disponibilidade de nutrientes para as plantas.
(Fonte: MALAVOLTA, 1985)

2.4 Cálculo da necessidade de calcário agrícola

Para a determinação da necessidade de calcário agrícola existem vários métodos, entre os quais se pode mencionar: método de acidez intercambiável, cálcio + magnésio intercambiável, incubação e saturação de bases.

Método de acidez intercambiável: onde se elimina o conteúdo de alumínio intercambiável abaixo do seu nível tóxico. Se determina pela seguinte fórmula:

$$Mg\ ha^{-1}\ CaCO_3 = 2,0 \times Al^{+3} + H^+ \quad (4)$$

Onde: 2,0; é uma constante do solo;

$Al^{+3} + H^+$ é a acidez intercambiável determinada em análises de solo.

Método de Ca e Mg intercambiáveis: é usado quando o solo é ácido, mas possui valores de acidez extraíveis e porcentagem de saturação de alumínio não tóxicos (Fatecha, 1989). Se determina pela fórmula:

$$Mg \text{ ha}^{-1} \text{ CaCO}_3 = 3,5 - (Ca + Mg) \quad (5)$$

onde: 3,5 é o nível desejado de Ca + Mg;

Ca + Mg (cmolc kg⁻¹) são as bases determinadas nas análises de solo.

Método da Incubação: não é muito utilizado devido ao grande período de incubação, que vai de 30 a 40 dias, o que representa uma desvantagem. Consiste em aplicar diferentes quantidades de calcário ao solo e, posteriormente medir o pH de maneira a eleger a quantidade de calcário com base no pH desejado (Osaki, 1991).

Método de Saturação de Bases: é um dos métodos mais utilizados no Paraguai para determinar a quantidade de calcário agrícola a ser aplicado (Malavolta, 1983). Se determina pela fórmula:

$$Mg \text{ ha}^{-1} \text{ CaCO}_3 = \frac{C.T.C. (V_2 - V_1)}{100} \quad (6)$$

onde: C.T.C. é a capacidade de troca catiônica;

V₂, é a saturação desejada;

V₁, é a saturação da análise de solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição geral da área de estudo

A Região Oriental do Paraguai situa-se entre os paralelos 22°05' e 27°30' de latitude sul e os meridianos 54°15' e 58°38' de longitude oeste. Limita-se ao norte e a leste com Brasil, a oeste limita com a região Ocidental da República do Paraguai, e ao sul com a Argentina. Está dividida em 14 departamentos (estados), com 214 distritos (cidades) e sua topografia é ondulada, contendo mais de 98% da população do país (TESSADA & ARCA, 1990).

O clima da região é tropical e subtropical, governado por massas de ar tropical e polar, com verões muito quentes e chuvosos e invernos com temperaturas baixas e menos chuvosas. A temperatura média anual é de 18°C e a máxima média anual de 28°C. As precipitações apresentam variabilidade estacional, sendo mínimas nos meses de julho e agosto e máximas entre os meses de outubro a março, com uma média de precipitações anuais de 1.700 mm (ABATE, 2000).

A Região Oriental pela qualidade dos seus solos e drenagem se distinguem em duas zonas; a vertente do Rio Paraguai, que em uma extensa área apresenta dificuldades de drenagem e solo pobre, dedicados à criação de gado e em áreas com melhor solo e drenagem, a produção agrícola; e a vertente do Rio Paraná, de relevo ondulado, de solos desenvolvidos sobre basalto, constituindo a área agrícola mais importante do país, ainda que recentemente muito exposta a degradação de seu ecossistema (LÓPEZ et al., 1995).

López et al (1995) identificaram e classificaram os solos da Região Oriental, a nível de reconhecimento, em 7 ordens, 13 subordens, 28 grandes grupos e 58 subgrupos, onde os Alfisolos e Ultisolos ocupam 65% do total das terras, seguidos pelos Entisolos, com 16%, sendo o restante do território ocupado pelos Inceptisolos, Oxisolos, Molissolos, Vertissolos e outros solos.

É nesta Região Oriental que o setor agropecuário mais se desenvolve, representando cerca de 90% das exportações, por volta de 35% da geração de empregos e 25% do PIB, assim como a produção deste setor, sendo explorados 3.582.000 ha de terras, onde a soja (mais de 1 milhão de hectares anuais), trigo, milho e girassol são os produtos agrícolas mais

importantes. Os campos naturais compreendem 4.794.000 ha, as matas 3.357.000 ha, e outras terras 4.236.000 ha (MAG/JICA, 1997).

Os três Departamentos objetos do estudo, Misiones, Itapúa e Alto Paraná, possuem, respectivamente, 893.700 ha, 1.602.000 e 1.413.000 ha aproximadamente de área total. Desse montante, a área cultivada corresponde a 99.417 ha em Misiones, 645.729 ha em Itapúa e 877.343 ha em Alto Paraná (MAG/D.C.E.A 2008). Na figura 3 temos a distribuição dos pontos de coleta de amostras de solo, compreendendo uma área de 1.668 ha para Misiones, 13.401 ha para Itapúa e 3.557 ha para Alto Paraná. Estes números mostram que aproximadamente 1,15% da área cultivada dos três Departamentos foi estudada para este trabalho.

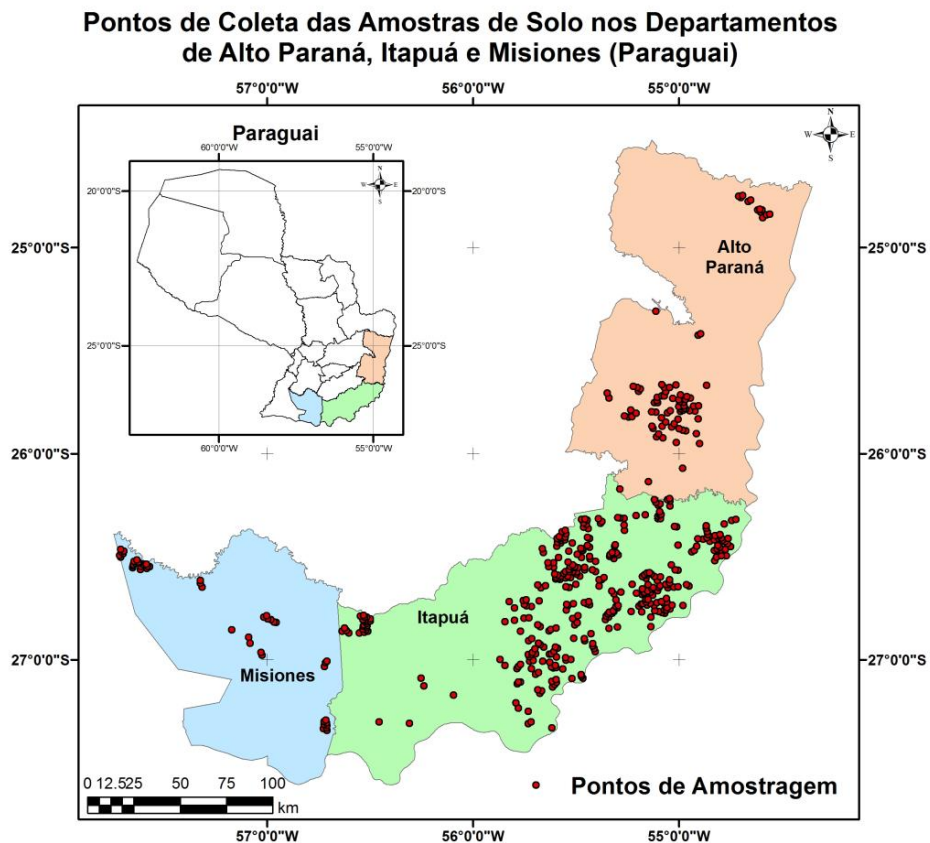


Figura 3. Distribuição dos pontos amostrados nos Departamentos de Misiones, Itapúa e Alto Paraná.

Fonte: Autor

3.2 Geração da base de dados

Gerou-se uma base de dados com os resultados de análises de solos do período pertencente ao ano agrícola de 2011-2012 com 11.130 dados de análises de solo. Os dados analíticos da matéria orgânica, fósforo disponível, potássio e pH (acidez ativa) foram obtidos dos arquivos da Sustenlab S.A, empresa pertencente a Sustentap S.R.L Consultoria de Precisão. Esta base de dados foi utilizada para a classificação do nível da fertilidade e acidez ativa (pH) dos solos da Região Oriental do Paraguai – Departamentos de Misiones, Itapúa e Alto Paraná, assim como para a obtenção da necessidade de calcário agrícola dos mesmos.

3.3 Classificação da fertilidade da camada superficial do solo

Para a classificação da fertilidade da camada superficial dos solos da região Oriental do Paraguai – Departamentos de Misiones, Itapúa e Alto Paraná se seguiu a metodologia adotada para atender os associados da Cooperativa Colônias Unidas.

Os parâmetros que se utilizaram para a classificação são a matéria orgânica, o fosforo disponível, potássio e pH (acidez ativa). Na Tabela 1 são apresentados os níveis utilizados para cada parâmetro.

Tabela 1. Valores dos parâmetros utilizados para a classificação de níveis de fertilidade da camada superficial do solo.

Parâmetro	Classe de Fertilidade				
	M. Baixa	Baixa	Média	Alta	M. Alta
Matéria Orgânica (%)	< 1,5	1,51 - 2,5	2,51 - 3,5	3,51 - 4,5	> 4,51
Fósforo (mg dm ⁻³)	< 4,0	4,01 - 8,0	8,01 - 12,0	12,01 - 24,0	> 24,0
Potássio (mg dm ⁻³)	< 0,06	0,061 - 0,12	0,121 - 0,19	0,191 - 0,38	> 0,381
pH	< 4,5	4,51 - 5,4	5,41 - 6,0	6,01 - 7,0	> 7,01

Fonte: Cubilla et al. (2012)

3.4 Necessidade de calcário agrícola

A necessidade de calcário agrícola foi determinada utilizando-se o Método da Saturação de Bases (Equação 6). Este é um dos métodos mais utilizados no Paraguai para determinar a quantidade de calcário agrícola a ser aplicado, por ser considerado o método que melhor se ajusta a partir da tipificação dos solos encontrados no Paraguai (Tabela 2).

Os níveis de Saturação de Bases que se pretendeu alcançar foram de 70% para todos os Departamentos.

Tabela 2. Valores dos parâmetros utilizados para a classificação de níveis de Saturação e Bases para aplicação de calcário agrícola.

Parâmetro	Classe de Saturação de Bases				
	M. Baixa	Baixa	Média	Alta	M. Alta
Saturação de Bases (%)	< 50	50,01 - 55	55,01 - 60	60,01 - 65	> 65

Fonte: Cubilla et al. (2012)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Departamento de Misiones

4.1.1 Classe de fertilidade

Na Figura 4 apresenta a localização geográfica onde foram coletadas as amostras de solo e a Tabela 3 apresentam as classes de fertilidade obtidas nas amostras do Departamento de Misiones.

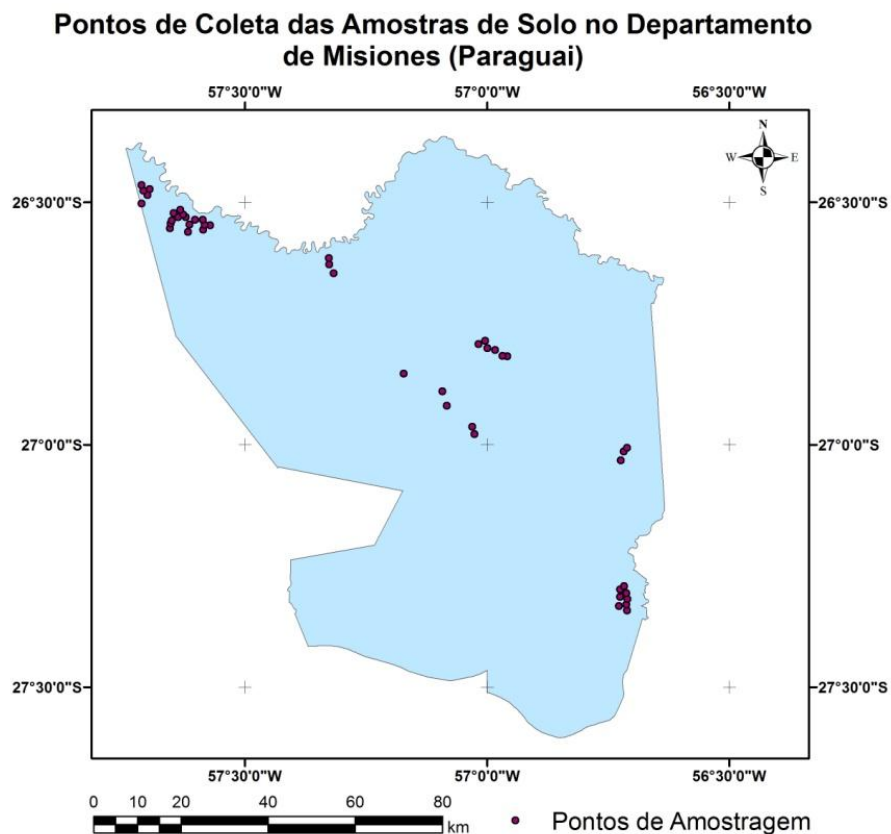


Figura 4. Localização dos pontos de amostragem no Departamento de Missiones.

Fonte: Autor

Tabela 3. Classificação da fertilidade da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Misiones.

Parâmetro	Número de Amostras por Classe de Fertilidade					Total
	M. Baixa	Baixa	Média	Alta	M. Alta	
Matéria Orgânica (%)	141	273	158	11	0	583
Fósforo (mg dm^{-3})	60	130	184	159	50	583
Potássio (mg dm^{-3})	381	172	18	12	0	583
pH	154	421	8	0	0	583

Fonte: Autor.

A classe de fertilidade média da camada superficial do solo para o parâmetro matéria orgânica do departamento de Misiones é considerada baixa, pois, como é apresentado na Figura 5, 98,12% das amostras estão na classe Média ou abaixo dela.

Para fósforo, predomina uma fertilidade média a alta, pois 67,41% das amostras analisadas está em nível médio ou acima, como é apresentado na Figura 6, e somente 32,59% nos níveis baixo ou muito baixo.

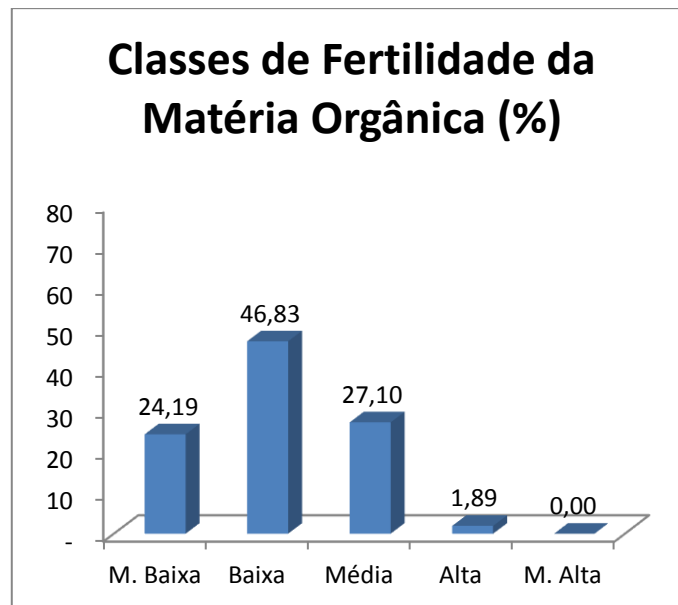


Figura 5. Classificação da matéria orgânica (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Misiones.

Fonte: Autor)

Para o parâmetro potássio, predomina o nível de fertilidade muito baixo, de modo que 94,85% das amostras apresentam nível baixo ou muito baixo como é observado na Figura 7.

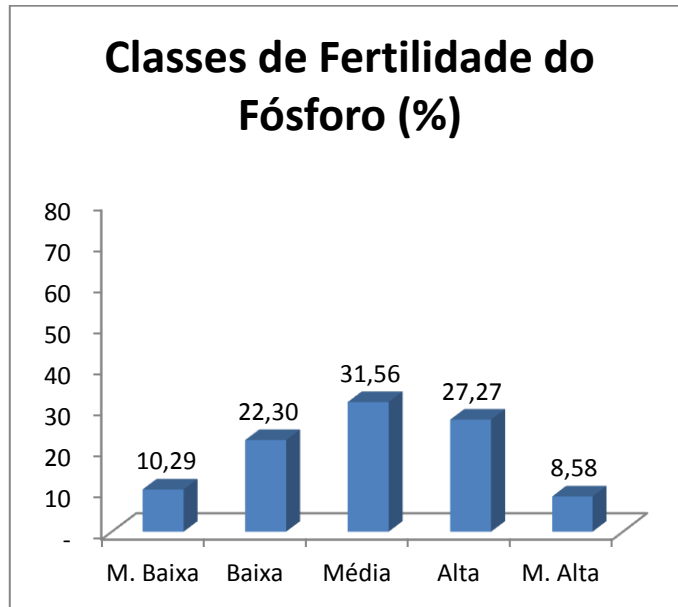


Figura 6. Classificação do fósforo (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Misiones.

Fonte: Autor

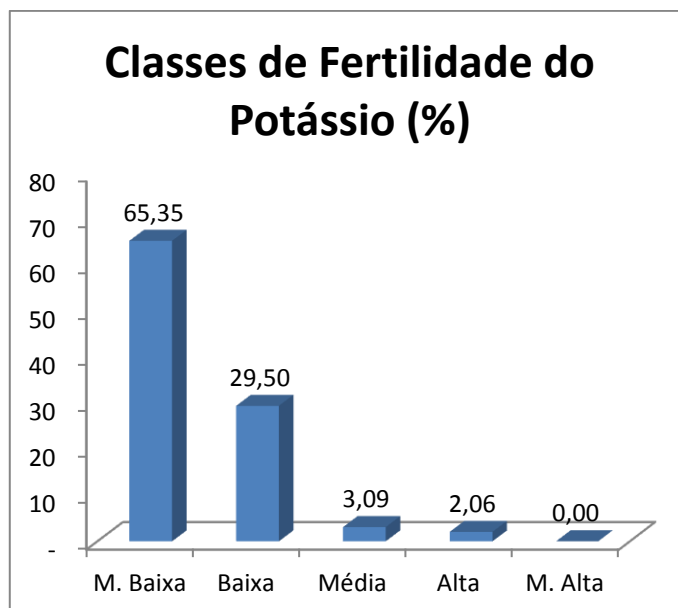


Figura 7. Classificação do potássio (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Misiones.

Fonte: Autor

O pH pode ser considerado baixo, pois 98,63% das amostras analisadas, como é apresentado na Figura 8, apresentaram níveis baixo ou muito baixo.

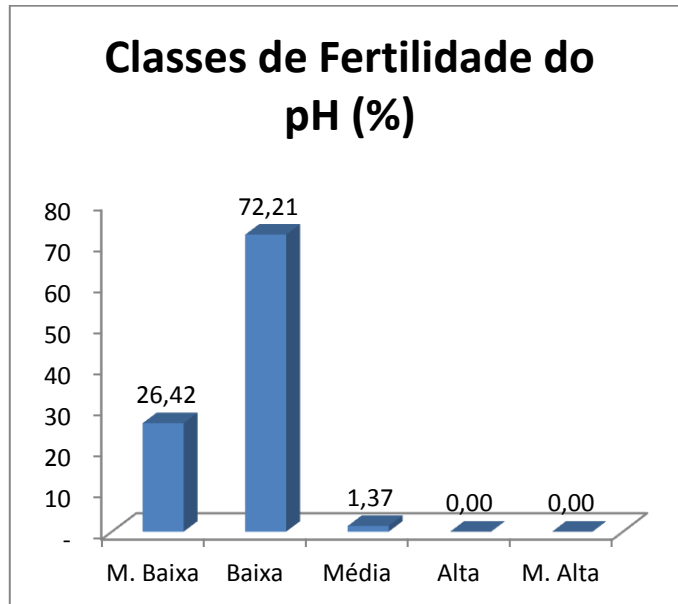


Figura 8. Classificação do pH (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Misiones.

Fonte: Autor

Estes resultados foram obtidos a partir do processamento de 583 análises de solo. Considerando os parâmetros químicos analisados do solo para a classificação da fertilidade, as principais limitações encontradas foram, a matéria orgânica o potássio e o pH.

4.1.2 Necessidade de calcário agrícola

Na Tabela 4 se encontram os resultados de necessidade de calcário agrícola para os níveis de saturação de bases para o Departamento de Misiones. Já na Figura 9, se encontra o total de amostras por nível de saturação de bases para o Departamento de Misiones.

Tabela 4. Necessidade de calcário agrícola para os níveis de Saturação de Base no Departamento de Misiones.

Parâmetro	Necessidade de calcário agrícola				
	<50	50,01 - 55	55,01 - 60	60,01 - 65	65 <
Média C.T.C (cmol _c /dm ³)	10,70	11,10	11,70	11,80	0,00
Média Saturação de Bases (%)	34,89	52,34	56,57	60,62	0,00
Necessidade de Calcário Agrícola Mg/ha	3,76	1,96	1,57	1,11	0,00
Média Departamental Mg/ha					1,68

Fonte: Autor

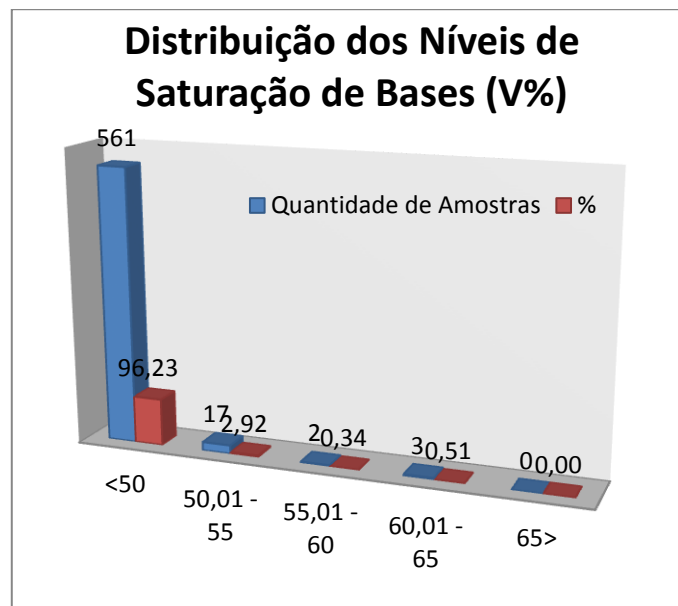


Figura 9. Total de amostras por nível de saturação de bases para o Departamento de Misiones.

Fonte: Autor

Do total de análises consideradas para o estudo, as que necessitam aplicação de calcário agrícola por saturação de bases muito baixo (<50%) são 96,23%, sendo a necessidade de calcário agrícola para este nível de 3,76 Mg ha⁻¹. Para o nível baixo (50,01 – 55 %), um total de 2,92%, a necessidade de calcário agrícola ficou em 1,96 Mg ha⁻¹; para o nível médio (55,01 – 60 %), um total de 0,34% e a necessidade ficou em 1,57 Mg ha⁻¹; para o nível alto (60,01 - 65 %) um total de 0,51%, a necessidade de calcário agrícola ficou em 1,11 Mg ha⁻¹ e para o nível muito alto (>65,01%) não foi encontrado nível de saturação de bases no departamento de Misiones. A média Departamental de aplicação de calcário agrícola ficou em 1,68 Mg ha⁻¹.

4.2 Departamento de Itapúa

4.2.1 Classe de fertilidade

Na Figura 10 apresenta a localização geográfica onde foram coletadas estas amostras e a Tabela 5 são apresentadas as classes de fertilidade obtidas nas amostras do Departamento de Itapúa.

Para Matéria orgânica, a classe de fertilidade predominante da camada superficial do solo é média com 48,92% das amostras (Figura 11), uma distribuição entre baixa e muito baixa com 25,35% e Alta com 25,73%.

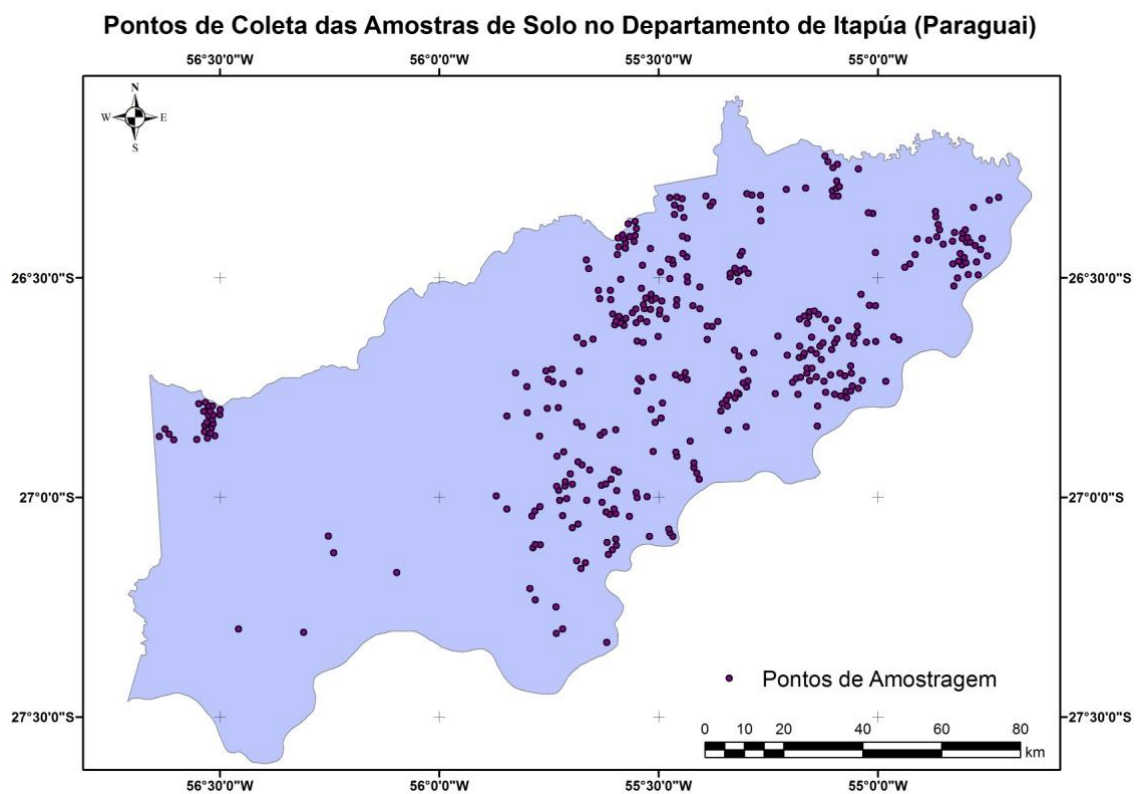


Figura 10. Localização dos pontos de amostragem no Departamento de Itapúa.

Fonte: Autor

Tabela 5. Classificação da fertilidade da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Itapúa.

Parâmetro	Número de Amostras por Classe de Fertilidade					Total
	M. Baixa	Baixa	Média	Alta	M. Alta	
Matéria Orgânica (%)	364	1743	4067	1765	374	8313
Fósforo (mg dm ⁻³)	1405	2317	1850	2119	622	8313
Potássio (mg dm ⁻³)	127	581	1261	2062	4282	8313
pH	5	586	3827	3807	88	8313

Fonte: Autor

Para o fósforo, observa-se uma distribuição tendendo a deficiência, pois ocorre uma classe de fertilidade média em 22,25% das amostras, com classe de fertilidade baixa e muito baixa em 44,77% e somente em 32,88% das amostras com as classes de fertilidade divididas entre Alta e Muito Alta (Figura 12).

Para o parâmetro de fertilidade potássio, pode-se considerar o solo com uma fertilidade alta, pois observa-se índices médios, altos e muito altos um total de 91,48% das amostras analisadas e somente 8,52% das amostras com níveis baixo ou muito baixo (Figura 13).

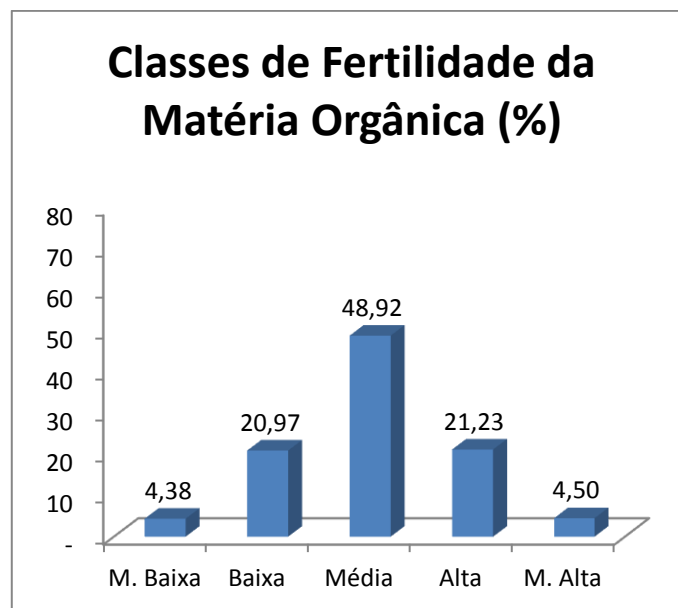


Figura 11. Classificação da matéria orgânica (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Itapúa.

Fonte: Autor

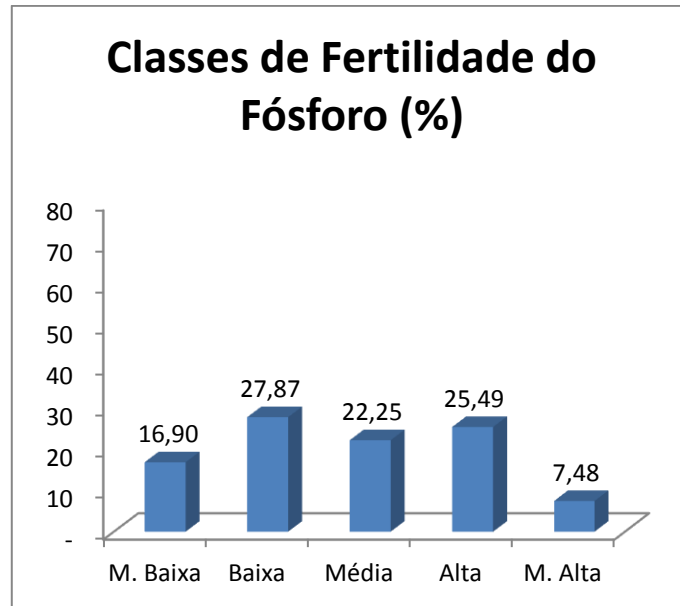


Figura 12. Classificação do fósforo (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Itapúa.

Fonte: Autor

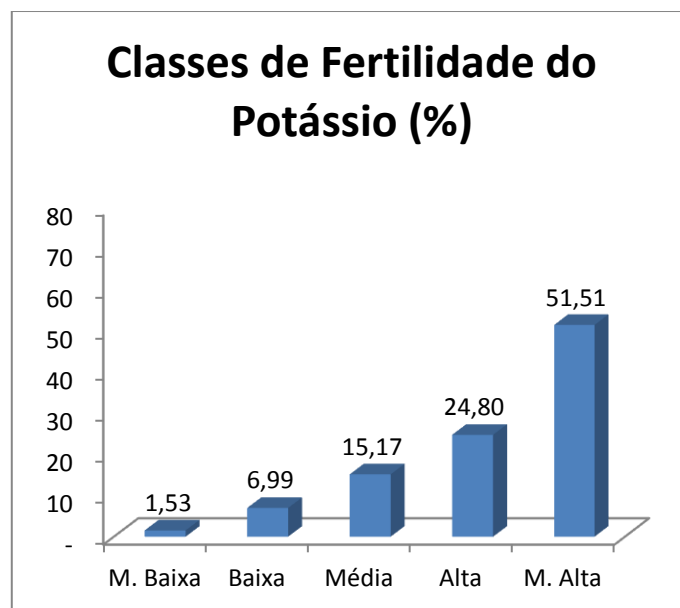


Figura 13. Classificação do potássio (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Itapúa.

Fonte: Autor

Para o pH também pode-se considerar com níveis adequados, pois os índices médio, alto e muito alto concentram 92,6% das amostras analisadas (Figura 14) e somente 7,11% das amostras com níveis baixo ou muito baixo.

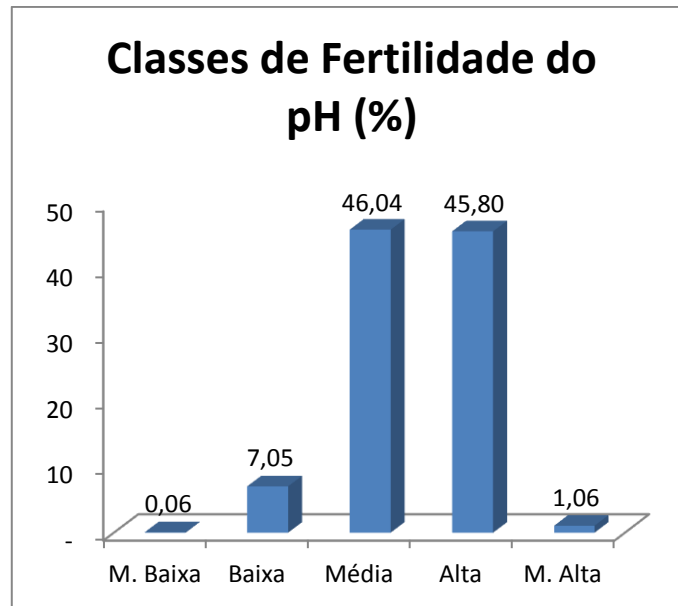


Figura 14. Classificação do pH (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Itapúa.

Fonte: Autor

Estes resultados foram obtidos do processamento de 8313 análises de solo. Considerando os parâmetros químicos analisados do solo para a classificação da fertilidade, as principais limitações encontradas foram a matéria orgânica e o fósforo.

4.2.2 Necessidade de calcário agrícola

Na Tabela 6 se encontram os resultados da necessidade de calcário agrícola para os níveis de saturação de bases do Departamento de Itapúa.

Tabela 6. Necessidade de calcário agrícola do solo para os níveis de saturação de bases do Departamento de Itapúa.

Parâmetro	Necessidade de Calcario Agrícola com base na saturação de bases				
	<50	50,01 - 55	55,01 - 60	60,01 - 65	65 <
Média C.T.C (cmol _c /dm ³)	12,00	12,68	12,96	13,57	16,00
Média Saturação de Bases (%)	39,98	57,63	57,63	62,57	72,98
Necessidade de Calcário Agrícola Mg/ha	3,60	1,57	1,60	1,01	-0,48
Média Departamental Mg/ha	1,56				

(Fonte: Autor)

Na Figura 15 se encontram o total de amostras por nível de saturação de bases para o Departamento de Itapúa.

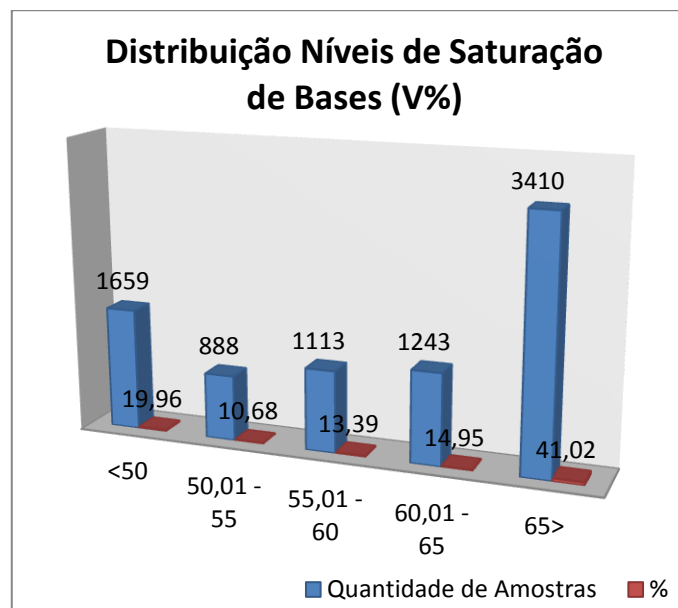


Figura 15. Total de amostras por nível de saturação de bases para o Departamento de Itapúa.

Fonte: Autor

Do total de análises consideradas para o estudo, as que necessitam aplicação de calcário agrícola por saturação de bases no nível muito baixo (<50%) são 19,96%, com necessidade de calcário agrícola de 3,60 Mg ha⁻¹; para o nível baixo (50,01 – 55 %), um total

de 10,68% das amostras, com necessidade de calcário agrícola de 1,57 Mg ha⁻¹; para o nível médio (55,01 – 60 %), um total de 13,39% das amostras e a necessidade ficou em 1,60 Mg ha⁻¹; para o nível alto (60,01 - 65 %), um total de 14,95% das amostras, com necessidade de calcário agrícola de 1,01 Mg ha⁻¹ e para o nível muito alto (>65,01%), um total de 41,02% das amostras sendo que para este nível, não se considera necessidade de calcário agrícola. A média Departamental de aplicação de calcário agrícola ficou em 1,56 Mg ha⁻¹.

4.3 Departamento de Alto Paraná

4.3.1 Classe de fertilidade

A Figura 16 apresenta a localização geográfica onde foram coletadas as amostras do Departamento de Alto Paraná e a Tabela 7 apresenta as classes de fertilidade obtidas nestas amostras.

Tabela 7. Classificação da fertilidade da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Alto Paraná.

Parâmetro	Número de Amostras por Classe de Fertilidade					Total
	M. Baixa	Baixa	Média	Alta	M. Alta	
Matéria Orgânica (%)	80	664	1134	327	29	2234
Fósforo (mg dm ⁻³)	370	885	520	393	66	2234
Potássio (mg dm ⁻³)	45	160	248	736	1045	2234
pH	27	858	1012	336	1	

Fonte: Autor

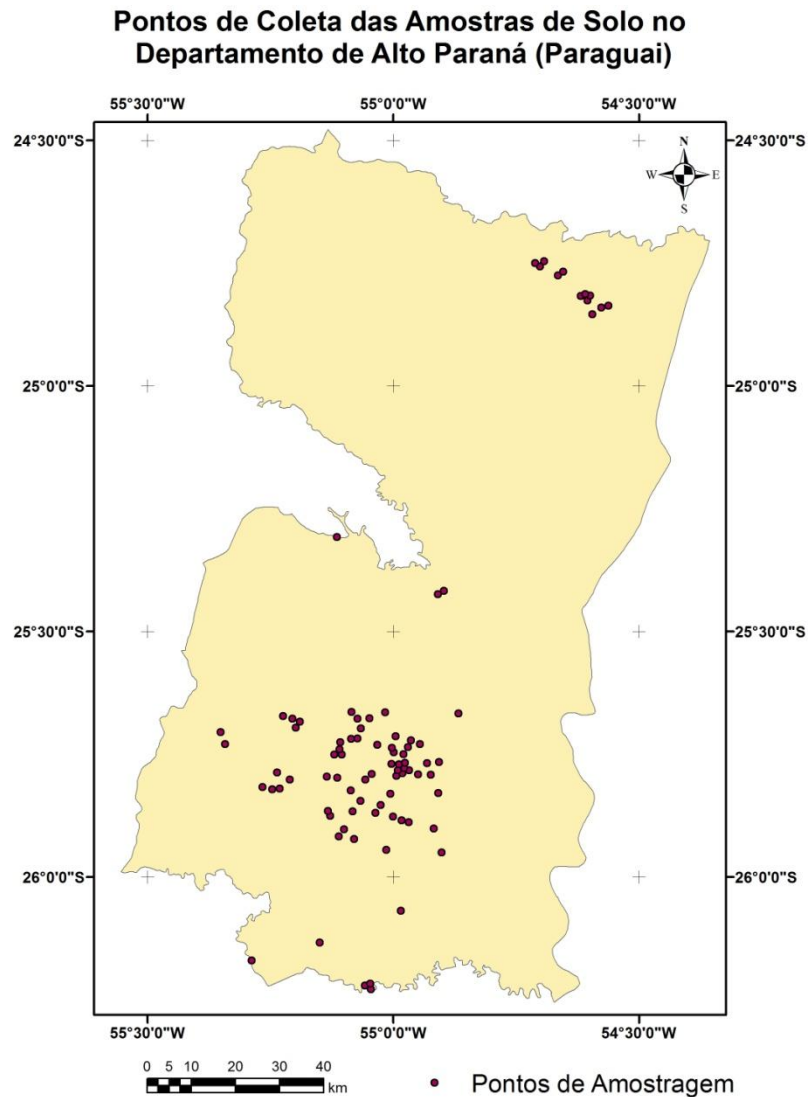


Figura 16. Localização dos pontos de amostragem no Departamento de Alto Paraná.

Fonte: Autor

A classe de fertilidade predominante na camada superficial do solo do Departamento de Alto Paraná é média para matéria orgânica, com 50,76% das amostras (Figura 17), ficando baixa e muito baixa para 33,3% das amostras analisadas e 15,94% entre alta e muito alta.

Para o parâmetro fósforo, pode-se considerar de fertilidade baixa, pois como pode ser observado na Figura 18, 79,46% das amostras analisadas se concentram em níveis muito baixo a médio.

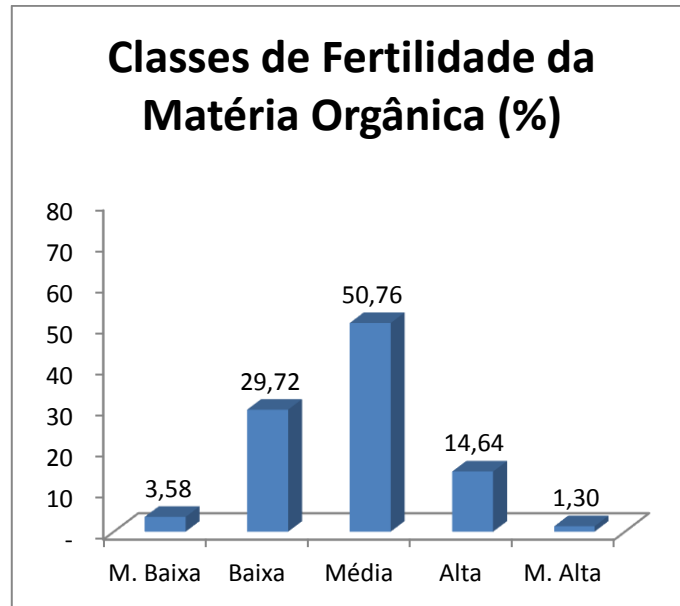


Figura 17. Classificação da matéria orgânica (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Alto Paraná.

Fonte: Autor

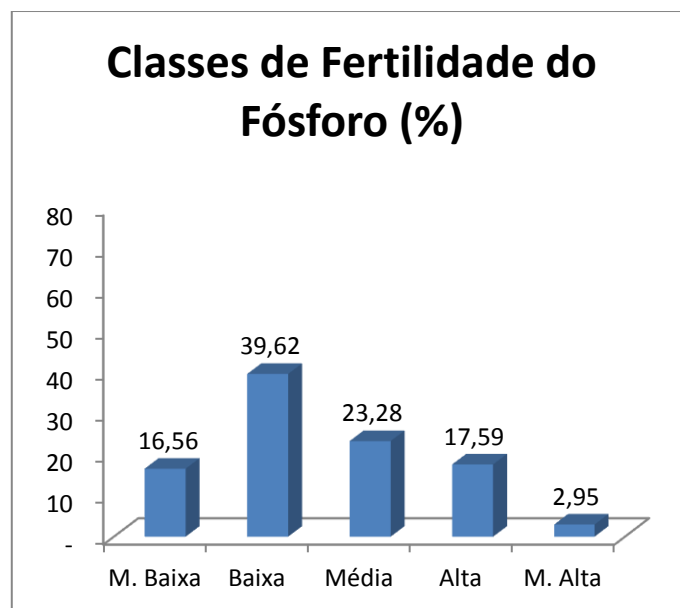


Figura 18. Classificação do fósforo (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Alto Paraná.

Fonte: Autor

Para o parâmetro potássio, pode-se considerar com nível de fertilidade alto, pois a concentração dos níveis ficou em alto e muito alto em 79,73% das amostras analisadas (Figura 19).

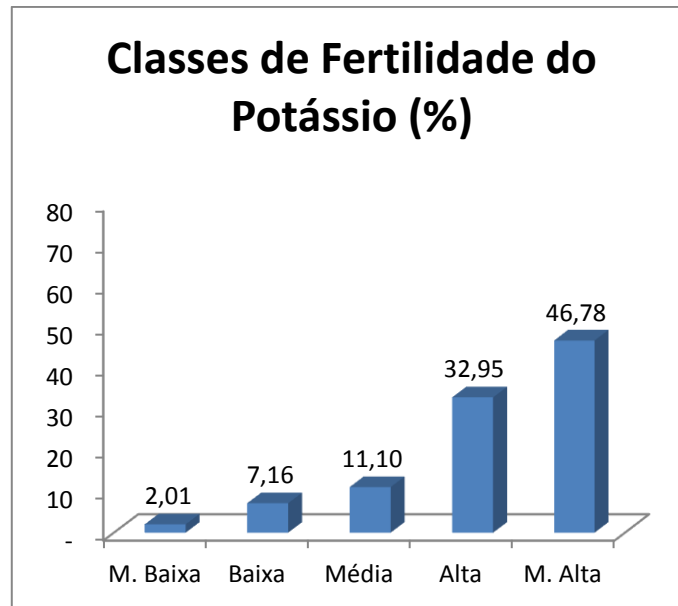


Figura 19. Classificação do potássio (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Alto Paraná.

Fonte: Autor

Como pode ser observado na Figura 20, o pH se encontra entre Baixo e Médio, totalizando 83,71% das amostras analisadas, indicando uma fertilidade tendendo a baixa.

Estes resultados foram obtidos do processamento de 2234 análises de solo. Considerando os parâmetros químicos analisados do solo para a classificação da fertilidade, as principais limitações encontradas foram o fósforo e o pH.

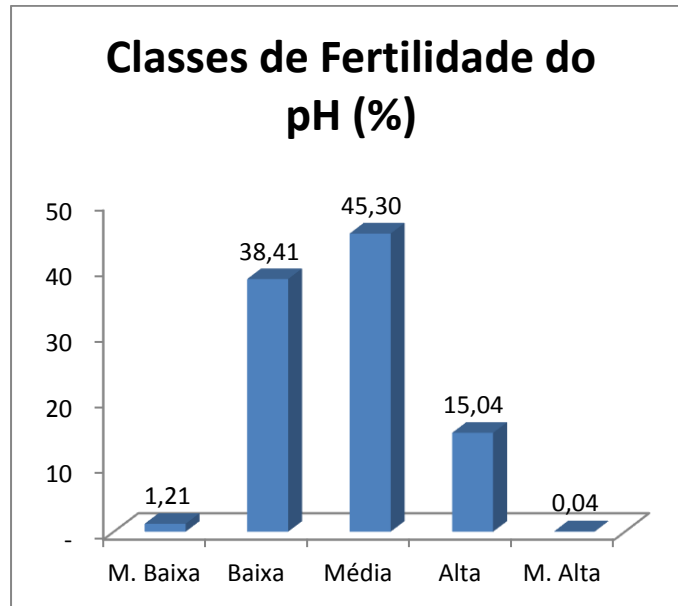


Figura 20. Classificação do pH (%) da camada superficial do solo das amostras do Departamento de Alto Paraná.

Fonte: Autor

4.3.2 Necessidade de calcário agrícola

Na Tabela 8 se encontram os resultados de necessidade de calcário agrícola para os níveis de saturação de bases do Departamento de Alto Paraná.

Tabela 8. Necessidade de calcário agrícola do solo para os níveis de saturação de bases no Departamento de Alto Paraná.

Parâmetro	Necessidade de Calcario Agrícola com base na saturação de bases				
	<50	50,01 - 55	55,01 - 60	60,01 - 65	65 <
Média C.T.C (cmol./dm ³)	11,77	12,5	12,74	13,51	14,84
Média Saturação de Bases (%)	37,51	52,59	57,75	62,53	73,06
Necessidade de Calcário Agrícola Mg/ha	3,82	2,18	1,56	1,01	-0,45
Média Departamental Mg/ha					1,71

Fonte: Autor

Na Figura 21 se encontram o total de amostras por nível de saturação de bases para o Departamento de Alto Paraná.

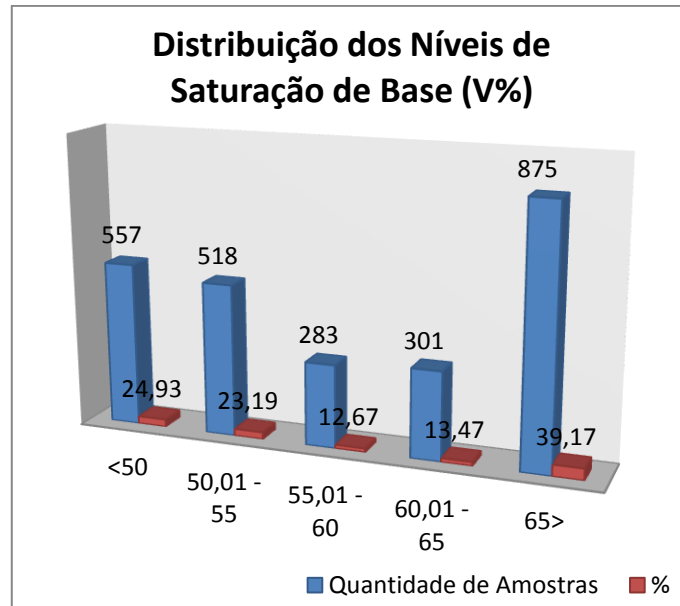


Figura 21. Total de amostras por nível de saturação de bases no Departamento de Alto Paraná.

Fonte: Autor

Do total de análises consideradas para o estudo, as que necessitam aplicação de calcário agrícola por saturação de bases no nível muito baixo (<50%) são 24,93% das amostras, com necessidade de calcário agrícola de 3,82 Mg ha⁻¹; para o nível baixo (50,01 – 55 %), um total de 23,19% das amostras, com necessidade de calcário agrícola de 2,18 Mg ha⁻¹; para o nível médio (55,01 – 60 %), um total de 12,67% das amostras, com necessidade de 1,56 Mg ha⁻¹; para o nível Alto (60,01 - 65 %), um total de 13,47% das amostras, com necessidade de calcário agrícola de 1,01 Mg ha⁻¹; para o nível muito alto (>65,01%) um total de 39,17% das amostras, onde não é considerada a necessidade de calcário agrícola. A média Departamental de aplicação de calcário agrícola ficou em 1,71 Mg ha⁻¹.

4.4 Necessidade de calcário e seus custos associados

A Tabela 9 apresenta os totalizadores de necessidade de calcário agrícola em Mg na área de estudos e o custo da aplicação do produto pela média e pela aplicação a taxa variada na agricultura de precisão.

Tabela 9. Necessidade média e total de calcário agrícola e o custo de aplicação pela média e a taxa variada.

Departamento	Necessidade Média de Calcário (Mg ha⁻¹)	Área Agrícola Avaliada (ha)	Necessidade total de Calcário (Mg)	Valor (R\$) da aplicação pela média	Valor (R\$) da aplicação a taxa variada
Misiones	1,68	1.668	2.802,24	196.136,80	109.259,34
Itapuá	1,56	13.401	20.905,56	1.463.389,00	815.107,78
Alto Paraná	1,71	3.557	6.082,47	425.772,90	237.155,51
Total	---	18.626	29.790,27	2.085.318,90	1.161.522,63

Fonte: Autor

Em estudo realizado por Gabbi (2014) a aplicação de calcário a taxa variada (considerando todos os custos de implantação da agricultura de precisão) representou uma economia de 44,30% em relação a aplicação pela média. Ao aplicarmos a mesma relação no presente estudo poderíamos reduzir a quantidade de 29.790,27 Mg ha⁻¹ para 16.593,18 Mg ha⁻¹. Ao considerarmos o valor de referência do calcário agrícola de R\$70,00/Mg e os custos de aplicação podemos passar de R\$2.085.318,90 para R\$1.161.522,63 na área de estudos.

5 CONCLUSÕES

Considerando os parâmetros químicos do solo para a classificação da fertilidade, as principais limitações encontradas foram a matéria orgânica nos Departamentos de Misiones e Itapúa, o potássio no Departamento de Misiones, o fósforo nos Departamentos de Itapúa e Alto Paraná e para o parâmetro químico pH nos Departamentos de Misiones e Alto Paraná.

Observa-se que os solos do Departamento de Misiones são de baixa fertilidade, pois além da baixa matéria orgânica, os macronutrientes estudados, (fósforo e potássio) também apresentam níveis abaixo do satisfatório, bem como o parâmetro pH.

Para o Departamento de Itapúa, observa-se que os solos podem ser classificados como de média fertilidade. A matéria orgânica esteve em 48,92% das amostras com o nível médio, o fósforo apresentou 22,25% das amostras em nível médio, 44,77% em níveis baixo ou muito baixo e o potássio mostra uma fertilidade alta, com 91,48% das amostras em níveis acima do nível médio. Para o pH 90,9% das amostras foram classificadas em níveis médio, alto ou muito alto, refletindo assim em uma diminuição na média da aplicação de calcário agrícola, que ficou entre 0,00 Mg ha⁻¹ a 3,60 Mg ha⁻¹.

Os resultados para o departamento de Alto Paraná indicam uma fertilidade média destes solos. O parâmetro matéria orgânica predominou no nível médio, com 50,76% das amostras analisadas neste patamar. Os macronutrientes fósforo e potássio obtiveram comportamento distinto. Em reação ao fosforo, aproximadamente 80% das amostras apresentaram níveis médio, baixo ou muito baixo. Já o potássio, aproximadamente 80% das amostras apresentou níveis alto ou muito alto. O parâmetro pH também foi considerado limitante, pois encontrou-se 39,62% das amostras nos níveis baixo ou muito dando um valor de aplicação de calcário maior do que os demais Departamentos estudados, variando de 0,00 Mg ha⁻¹ a 3,82 Mg ha⁻¹.

Com isso, conclui-se que os Departamentos de Misiones e Alto Paraná foram os que apresentaram a maior necessidade média de aplicação de calcário agrícola, respectivamente, 1,68 e 1,71 Mg ha⁻¹, enquanto que o Departamento de Itapúa obteve uma necessidade média de 1,56 Mg ha⁻¹.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATE, J. 2000. **La Situación Ambiental del Paraguay**. Asunción, PY. Disponible em: <www.paraguaysp.com.py/htm>. Acceso em: 19 janeiro 2014.

ACOSTA, C. 2000. **Un Paso Adelante**. La Nación. Campo. Asunción, PY; jun 21:8.

DERPSCH, R.; FLORENTÍN, M., 2000. La Mucuna y otras plantas de abono verde para pequeñas propiedades. MAG. Asunción, PY. **Miscelánea**. n. 22. 44p.

FATECHA, A. 1989. **Encalado del Suelo**. Caacupé: MAG/DIA/IAN. 8p. (Boletín de Divulgación N° 24).

FATECHA, A. 1999. **Guía para la fertilización de cultivos anuales y perennes de la Región Oriental del Paraguay**. Caacupé: MAG/SSEA/DIA. 23p.

FATECHA, A.; LÓPEZ, J. 1998. **Uso de la Cal Agrícola en el Paraguay**. Caacupé: MAG/SSEA/DIA. 29p. (Boletín de Divulgación, n° 38).

FLORENTÍN, M.; PEÑALVA, M.; CALEGARI, A.; DERPSCH, R. 2001. **Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa: Pequeñas propiedades**. Proyecto de Conservación de Suelos. GTZ-MAG/DIA/DEAG San Lorenzo, PY. 84p.

GABBI, R. E. **Agricultura de precisão como apoio a gestão dos custos de aquisição de fertilizantes**. 2014. 43 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

GONZALEZ, E. 1995. **Cal Agrícola: Requerimientos, Técnicas de Aplicación, Suelos y Aspectos Agronómicos**. Geo Consultores. Asunción, PY. 300p.

JORGE, J. 1969. **Solo: Manejo y Adubação**. Editora da USP: São Paulo, 225p.

LOPEZ, O.; MOLINAS, A.; VEGA, S.; GALEANO, M. 1996. **Fertilidad de Suelos de la Región Oriental del Paraguay. I. Acidez y Necesidad de Encalado**. FCA/UNA. San Lorenzo: PY, 35p.

LÓPEZ G., O.; GONZALEZ, E.; DE LLAMAS, P.; MOLINAS, A.; FRANCO S.; GARCÍA, S.; RIOS, E. 1995. **Estudio de Reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la Región Oriental del Paraguay.** Proyecto de Racionalización del uso de la tierra. SSERNMA/MAG/Banco Mundial. Asunción, PY.

MAG/D.C.E.A (Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias). 2008. **Censo Agropecuario Nacional.** 2008. San Lorenzo, PY. 105p.

MAG/IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, PY). 2003. **PARAGUAY: En el mapa competitivo del mundo “Koa Ikatuta”.** Informe final. Agendas subsectoriales y por Áreas Temáticas. Asunción. PY.

MAG/JICA (Agencia de Cooperación Internacional del Japón, PY). 1997. **Estudio del Plan Maestro para el Programa Global de Cooperación al Pequeño Productor en la Región Oriental de la República del Paraguay.** Asunción, PY. 422p.

MALAVOLTA, E.; PERES, J. 1975. **Manual de Adubação.** 2da. Edición. Editora Ave Maria. Sao Paulo, BR. 34p.

MALAVOLTA, E. 1976. **Manual de Química Agrícola:** Nutricao de Plantas y Fertilidade do Solo. Editora Agronómica Ceres. São Paulo, BR. 560p.

MALAVOLTA, E. 1983. **Seminario sobre Correctivos Agrícolas.** Fundacao Cargill. Editorial Viera. Campinas, BR. 375p.

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

MALAVOLTA, E.; OLIVEIRA, S. A.; WADT, P. G. S. 1999. **Foliar Diagnosis: the status of the art.** In: José Osvaldo Siqueira; F. M. S. Moreira; Alfredo S. Lopes; L. R. G. Guilherme; A. E.

MELLO, F.; OLIVEIRA, C.; ARZOLLA, S.; SILVERA, R.; NETTO, A.; CASTRO, J. 1988. **Fertilidade do Solo.** 3ra. edición. Nobel. Sao Paulo, BR. 400p.

MUSULLI, G.; DUARTE, C.; CÁCERES, C.; RODRÍGUEZ, R. 1997. **Curso de Evaluación de Proyectos y Análisis de Riesgo en el Paraguay:** Proyecto de Planta de Fertilizantes. Caso Mayor. Asunción, PY. 30p.

PRIMAVESI, A. 1988. **A Agricultura en regiones Tropicais**. Manejo Ecológico do Solo. ESALQ/USP. Nobel. Sao Paulo, BR. 300p.

REICHERT, J. M. et al. 2009. **Solos Florestais**. Disponível em: <http://www.fiscadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/ Disciplinas/SolosFlorestais/Apostila_Teorica%20SF.pdf>. Acesso em: 20 Abril 2014.

SORRENSON, W.; DUARTE, C.; LÓPEZ, J. 2001. **Aspectos económicos de los sistemas de Siembra Directa y labranza convencional en pequeñas fincas del Paraguay: Implicancias en la política y la inversión**. Traducción: H. Causarano, PROYECTO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS. MAG-GTZ, San Lorenzo, Paraguay, 84p.

TESSADA, M.; ARCA, M. 1990. **El Paraguay: Su pasado, su presente y su futuro**. Asunción, PY: F.V.D. 197p.

WIENS, F.; GONZALEZ, E.; LACOUR, C. 1995. **Cal Agrícola en Paraguay**. Geo Consultores. Asunción, PY. 300p.