

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**



Dissertação

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA ACIDEZ POTENCIAL PARA
OS SOLOS DOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E MATO GROSSO**

Rosane Maria Morales Guidotti

Pelotas - RS, Brasil.

Setembro, 2013

Rosane Maria Morales Guidotti

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA ACIDEZ POTENCIAL PARA
OS SOLOS DOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E MATO GROSSO**

**Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Agronomia da
Universidade Federal de Pelotas, como
requisito parcial à obtenção de título
de Mestre em Ciências (área do
conhecimento: Solos).**

Orientador: Prof^ª. Dr^ª Rosa Maria Vargas Castilhos

Co-orientador: Prof^º Dr. Ledemar Carlos Vahl

Pelotas - RS, Brasil.

Setembro, 2013

Dados Internacionais de Publicação (CIP)

G946a Guidotti, Rosane Maria Morales
 AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA ACIDEZ
 POTENCIAL PARA OS SOLOS DOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO
 SUL e MATO GROSSO / Rosane Maria Morales Guidotti;
 Rosa maria vargas Castilhos, orientador. - Pelotas,
 2013.
 83 f.: il.

 Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de
 Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de
 Pelotas. Pelotas, 2013.

 1.Reagente tóxico. 2.Sikora e TSM. 3.Acidez do
 solo. 4.Métodos SMP. I. Castilhos, Rosa maria vargas ,
 orient. II. Título.

CDD: 631.4

Catálogo na Fonte: Gabriela Machado Lopes CRB:10/1842
Universidade Federal de Pelotas

Banca Examinadora:

Rosa Maria Vargas Castilhos

Prof^ª. Dr^ª. DS/FAEM/UFPel

Dr^ª. Carla Machado da Rosa

Pós-Doutoranda na UFRGS

Dr^ª. Valkyria Bueno Scivittaro

Pesquisadora da EMBRAPA

Prof^º Dr. Ledemar Carlos Vahl

DS/FAEM/UFPel

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida.

Ao meu namorado Antonio Alves de Freitas que esteve comigo em toda esta jornada.

A Professora Rosa Maria Vargas Castilhos, pelos ensinamentos e apoio.

Ao Professor Ledemar Carlos Vahl, pela co-orientação e confiança que depositou em mim para a realização deste trabalho.

Ao Professor Luis Fernando Spinelli Pinto, pelos ensinamentos em mapas e classificação de solos.

A todos os professores do curso de Pós-Graduação em Agronomia (Solos) pelos ensinamentos.

A todos os funcionários do departamento de Solos, em especial aos funcionários do laboratório de Física do solo, Paulo Antunes e Sergio Machado, pela ajuda na análise granulométrica.

A minha amiga Dra. Katiúscia Strassburger pelo incentivo para a realização deste curso.

Ao aluno de Mestrado Gil Cunegatto pela colaboração na coleta das amostras.

À todos os meus colegas de curso pelo apoio e ajuda, em especial aos colegas, Gerson Buss e Dioni Odin pela ajuda na análise de dados.

Ao aluno de Doutorado Marcos Lima Campos Valle por todo o apoio nas discussões estatísticas.

Aos demais amigos, familiares e a todos que de alguma forma contribuíram para a viabilização deste trabalho, um sincero muito obrigado.

RESUMO

GUIDOTTI, Rosane M. M. **Avaliação de Métodos para a Estimativa da Acidez Potencial para os solos dos Estados do Rio Grande do Sul e Mato Grosso.** 2013. 96f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Área de concentração: Solos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - Brasil.

As atividades de ensino e pesquisa nas diversas áreas do conhecimento empregam várias substâncias químicas, sendo algumas consideradas perigosas, oferecendo risco potencial aqueles que as manipulam e ao meio ambiente. A estimativa da acidez potencial ($H + Al$) em solos, feita pelo método SMP, utiliza dois reagentes de caráter tóxico, o p-nitrofenol e o cromato de potássio. Para minimizar o efeito tóxico destes reagentes, foi proposto e testado com resultados positivos em solos americanos um método denominado Sikora, que os substituiu, respectivamente, pelo imidazol e pelo MES (ácido 2-N-morfolino etanosulfônico monohidratado), considerados menos tóxicos. No Brasil, o método Sikora foi testado em alguns solos do Estado do Rio Grande do Sul (RS) e do Cerrado. Como não apresentou uma boa correlação, o método foi modificado, calibrado para estes mesmos solos e denominado Tampão Santa Maria (TSM). O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia do método Sikora original e sua versão TSM na estimativa da acidez potencial num amplo grupo de solos, dos Estados do RS e do Mato Grosso (MT), com características químicas e físicas contrastantes, com vistas à substituição do método SMP calibrado para os Estados do RS e Santa Catarina (SC). Os métodos foram testados em 110 amostras de solos do MT e 103 amostras de solos dos RS, coletados na camada de 0-20 cm, em áreas cultivadas e não cultivadas. Os resultados foram submetidos a análises de correlação e estatística descritiva. Ajustou-se um polinômio de segundo grau para a comparação dos valores de pH obtidos com acidez potencial titulada e os três métodos. A maior acurácia na predição da acidez potencial foi observada na seguinte ordem entre os métodos avaliados: $SMP > TSM > Sikora$, tanto para solos das regiões Sul e Planalto do RS como para o Estado do MT. No RS, o método TSM mostrou-se viável em estimar acidez potencial ($H + Al$) para os solos das duas regiões do RS, possibilitando a adoção de um modelo matemático único. Apenas o método SMP apresentou universalidade na estimativa da acidez potencial ($H + Al$) para os dois Estados, RS e MT. O método Sikora e sua versão TSM reproduziram os valores de pH obtidos com o método SMP para os solos do MT e portanto podem ser usados para a recomendação de calcário. Para os solos do RS, o método TSM mostrou-se mais eficiente do que o método Sikora na reprodução dos valores de pH obtidos com o método SMP, sendo o mais indicado para substituí-lo nos laboratórios de análise de solos deste Estado e na recomendação de calcário.

Palavras-chave: reagente tóxico, acidez do solo, métodos SMP, Sikora e TSM.

ABSTRACT

GUIDOTTI, Rosane M. M. **Evaluation of methods for estimating potential acidity in soils of Rio Grande do Sul and Mato Grosso States, Brazil.** 2013. 96f. Dissertation (Master) - Post-Graduation Program in Agronomy, Area of Concentration: Soils, Federal University of Pelotas, Pelotas - Brazil.

Teaching and research activities in different areas of knowledge employ various chemicals substances, some of which are considered dangerous, offering potential risk to those who manipulate it or risk to the environment. The estimation of potential acidity ($H + Al$) in soils, made by SMP method uses two toxic reagents, p-nitrophenol and potassium chromate. To minimize toxic effect of these reagents, a new method called Sikora was proposed and tested in American soils, with positive results, which replaced them, respectively, by imidazole and the MES (2-N-morpholino ethanesulfonic acid monohydrate), not considered harmful. Sikora method has been tested in some Brazilian soils of Rio Grande do Sul State (RS) and from Central Brazil (Cerrado), and did not present a good correlation. For this reason, the Sikora method was modified and calibrated for these same soils and called Santa Maria buffer (TSM). This study aimed to evaluate the effectiveness of the original Sikora method and his version TSM in the estimation of the soil potential acidity in order to replace the SMP method calibrated for RS and Santa Catarina (SC) States, in a large group of soils, from RS and Mato Grosso (MT) States, with contrasting chemical and physical characteristics. The methods were tested using 110 soil samples from MT and 103 from RS, collected at 0-20 cm depth, in cultivated and uncultivated areas. The results were submitted to correlation analysis and descriptive statistics analysis. A second degree polynomial was adjusted to compare the potential acidity titrated with the pH values obtained with the three methods. Among methods, the higher accuracy in predicting the potential acidity was observed in the following order: SMP > TSM > Sikora, for both soils from RS State Southern and Planalto region as well for those of MT state. In RS state, the TSM method showed to be feasible to estimate potential acidity ($H + Al$) for soils of both regions, allowing the adoption of a single mathematical model. Only the SMP method presented universality in estimating potential acidity ($H + Al$) for soils of the two states, RS and MT. Sikora and TSM methods reproduced pH values obtained with SMP method for MT soils and therefore can be used for limestone recommendation. For RS State, the TSM method was more efficient than the Sikora method on the reproduction of soils pH values obtained with the SMP method, being the most suitable to replace SMP method in soil analysis laboratories and therefore to be used on limestone recommendation.

Key words: toxic reagents, soil acidity, SMP, Sikora and TSM methods

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Comparação entre a composição original do tampão SMP e a utilizada nas diferentes regiões do Brasil.....	21
Tabela 2	Concentração dos reagentes da Solução Tampão Sikora.....	22
Tabela 3	Concentração dos reagentes da Solução Tampão Santa Maria TSM.....	23
Tabela 4	Relação dos reagentes e quantidades para 1 l de solução tampão SMP, Sikora e TSM.....	28
Tabela 5	Valores estimados e probabilidade associada à estatística t, dos coeficientes dos modelos para cada método nas regiões do RS....	36
Tabela 6	Erro padrão, coeficiente de determinação e probabilidade F dos modelos de predição da acidez potencial das Regiões do RS.....	36
Tabela 7	Valores estimados e probabilidade associada à estatística t, dos coeficientes dos modelos completos para cada método nas regiões do RS e MT.....	37
Tabela 8	Erro padrão, coeficiente de determinação e probabilidade F dos modelos de predição da acidez potencial das Regiões do RS e MT.....	37
Tabela 9	Concentração mínima e máxima, média, desvio padrão, coeficiente de variação (CV%), 1º e 3º quartis, mediana, e intervalo de confiança (IC) a 5% com limite inferior (LI) e limite superior (LS) dos parâmetros: argila, carbono, pH _{H2O} , SMP, Sikora e TSM, (H +Al), Al, Ca, Mg, Na, K, CTC _e , CTC _{pH 7,0} , (m%) e (V%) nas 110 amostras dos solos do Estado do MT.....	45
Tabela 10	Concentração mínima e máxima, média, desvio padrão, coeficiente de variação (CV%), 1º e 3º quartis, mediana, e intervalo de confiança (IC) a 5% com limite inferior (LI) e limite superior (LS) dos parâmetros: argila, carbono, pH _{H2O} , SMP, Sikora e TSM, (H +Al), Al, Ca, Mg, Na, K, CTC _e , CTC _{pH 7,0} , (m%) e (V%) nas 103 amostras dos solos do Estado do RS.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Componentes da acidez do solo, na fase sólida e líquida.....	16
Figura 2	Curva de titulação do solo A, com baixa capacidade tamponante, e do solo B, com alta capacidade tamponante.....	24
Figura 3	Mapa do Brasil identificando as regiões de coleta das amostras de solos nos Estados do MT e RS.....	26
Figura 4	Comparação do método SMP Tedesco et al (1995) com a estimativa da acidez potencial (H + Al) dos solos nas 3 regiões: Estado do MT(a), Região do Planalto do RS(b) e Região Sul do RS(c).....	33
Figura 5	Comparação do método Sikora (2006) para a estimativa da acidez potencial (H + Al) dos solos nas 3 regiões: Estado do MT(a), Região do Planalto do RS(b) e Região Sul do RS(c).....	34
Figura 6	Comparação do método TSM (2011) para a estimativa da acidez potencial (H + Al) dos solos nas 3 regiões: Estado do MT(a), Região do Planalto do RS(b) e Região Sul do RS(c).....	35
Figura 7	Relação dos valores de pH obtidos com o método SMP e os métodos TSM (a) e Sikora (b); relação entre as recomendações de calcário calculadas para atingir saturação de bases 50%, com o método SMP e os métodos TSM(c) e Sikora (d) para as 110 amostras de solos do MT.....	39
Figura 8	Relação dos valores de pH obtidos com o método SMP e os métodos TSM (a) e Sikora (b); relação entre as recomendações de calcário para atingir pH 6,0 com o método SMP e os métodos TSM(c) e Sikora (d) para as 103 amostras de solos do RS.....	42
Figura 9	Distribuição de frequência dos parâmetros avaliados nas 110 amostras de solos do Estado do MT.....	46
Figura 10	Distribuição de frequência dos parâmetros avaliados nas 103 amostras de solos do Estado do RS.....	49

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1	Número de amostras coletadas por município, identificação numérica, município das 110 amostras de solo do Estado do MT, em áreas cultivadas e não cultivadas.....	57
Apêndice 2	Identificação numérica, descrição e tipo de solo predominantes na região de coleta das 110 amostras de solo do Estado do MT, em áreas cultivadas e não cultivadas.....	58
Apêndice 3	Número de amostras coletadas por município, Identificação numérica e município das 103 amostras de solo do Estado do RS, em áreas cultivadas e não cultivadas.....	63
Apêndice 4	Identificação numérica, coordenada geográfica, descrição e tipo de solo das 103 amostras de solo do Estado do RS, em áreas cultivadas e não cultivadas.....	64
Apêndice 5	Atributos físico-químicos das 110 amostras de solos coletadas na camada de 0-20 cm do Estado do MT.....	70
Apêndice 6	Atributos físico-químicos das 103 amostras de solos coletadas na camada de 0-20 cm do Estado do RS.....	75
Apêndice 8	Rotina de análise da identidade dos modelos.....	80
Apêndice 9	Modelagem do comportamento potenciométrico de uma solução tampão em função da neutralização da acidez.....	81

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2 HIPÓTESES.....	14
3. OBJETIVOS.....	15
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1 Origem da acidez do solo	16
4.2 Neutralização da acidez do solo.....	18
4.3. Métodos de determinação da acidez ativa e potencial do solo.....	19
4.3.1. Determinação da acidez ativa	19
4.3.2. Determinação da acidez potencial.....	19
4.4 A solução tampão e seu comportamento em contato com o solo	24
5. MATERIAL E MÉTODOS	27
5.1 Coleta das amostras de solo.....	27
5.2 Local de estudo.....	28
5.3 Determinações físicas e Químicas do solo.....	29
5.3.1 Granulometria.....	29
5.3.2 Acidez ativa (pH)	29
5.3.3 Acidez Potencial (H + Al).....	29
5.3.4 Carbono orgânico total	31
5.3.5 Alumínio, cálcio e magnésio trocáveis	31
5.3.6 Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_e), $CTC_{pH7,0}$ e saturação por bases (V%).....	31
5.3.7 Recomendação de calcário	32
5.3.8 Análise Estatística dos resultados	32
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
6.1 Comparação dos métodos SMP-RS/SC (Tedesco et al.,1995), Sikora e TSM para a estimativa da acidez potencial (H + Al) dos solos do MT, e das regiões Planalto e Sul do RS	34
6.2 Relação entre os valores de pH obtidos com o método SMP e suas versões os métodos Sikora e TSM nos solos do Estado do MT	40

6.3 Relação entre os valores de pH obtidos com o método SMP e com as suas versões os métodos Sikora e TSM nos solos do Estado do RS	43
6.4 Atributos físicos e químicos dos solos do Estado do Mato Grosso	45
6.5 Atributos físicos e químicos dos solos do Estado do Rio Grande do Sul	48
7. CONCLUSÕES	53
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
APÊNDICE	58

1. INTRODUÇÃO

Nas análises químicas em laboratório, nas diversas áreas do conhecimento, são usadas muitas substâncias químicas, entre as quais existem as consideradas perigosas que oferecem risco potencial àqueles que as manipulam e ao meio ambiente. Embora o volume gerado nas unidades de ensino e pesquisa, em relação aos resíduos industriais, um volume muito pequeno, já existe uma preocupação dos órgãos federais fiscalizadores de considerar essas unidades como potencialmente poluidoras.

Nos estados do RS e SC, atualmente existem 32 laboratórios de análises de solo cadastrados na ROLAS (Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos), que processam aproximadamente 120 mil análises básicas por ano (EMBRAPA TRIGO, 2013). Nestas amostras são determinados os atributos químicos tais como: acidez ativa, acidez potencial estimada pelo tampão SMP, capacidade de troca de cátions, matéria orgânica, teores de macro e micro nutrientes e outros.

A acidez potencial é avaliada pela mudança de pH de uma solução tamponada proposta por SHOEMAKER et al. (1961). Este pH é conhecida como índice SMP. Tal solução é composta por cinco reagentes: trietanolamina, cromato de potássio, p-nitrofenol, acetato de cálcio e cloreto de cálcio.

Em 1964 o tampão SMP foi calibrado com os solos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, conforme Tedesco et al. (1995) e a solução tampão SMP tem seu pH ajustado para 7,5. A diminuição do valor de seu pH inicial ao entrar em contato com o solo nos indica a acidez potencial que este solo apresenta, sendo este efeito dependente de cada uma das quatro bases presentes no tampão. Obtendo-se o que se chamou de índice SMP, correlacionando este com as quantidades de calcário obtidas por incubação dos diferentes solos com carbonato de cálcio necessária para atingir valores de pH 5,5; 6,0 e 6,5 compatíveis com as diversas culturas, conforme Manual de Adubação e Calagem (2004). É utilizada desde então pelos laboratórios que fazem parte da ROLAS e laboratórios não vinculados a rede.

Dos cinco reagentes do tampão SMP dois são considerados substâncias tóxicas, o p-nitrofenol e o cromato de potássio contendo o íon cromato (CrO_4^{2-}). Estas substâncias trazem riscos ao meio ambiente e aos seus manipuladores, podendo

desenvolver metahemoglobina e carcinomas por exposição crônica e ao meio ambiente (TOLEDO, 2011).

Nos Estados Unidos, as leis federais em vigor são rígidas em relação à geração de resíduos perigosos, o que desencadeou nos últimos anos uma série de trabalhos visando à substituição de substâncias poluidoras. Na solução tampão proposta por Sikora (2006), o p-nitrofenol e o cromato de potássio, usados no tampão SMP, foram substituídos por MES (Ácido 2 (N-morfino) etanosulfônico monohidratado) e o imidazol, que não tem os efeitos tóxicos dos dois reagentes usados no tampão SMP.

A solução tampão-Sikora foi testada 23 amostras de solos, sendo oito da região da Serra e 12 de solos de várzea do RS e três do cerrado brasileiro e não apresentou uma boa correlação com a solução tampão-SMP, conforme (KAMINSKI et al., 2007). Diante destes resultados, o autor propoz alterações em sua composição original, com vistas a viabilizar sua adoção.

Um estudo a nível de mestrado foi conduzido na Universidade Federal de Santa Maria, para calibrar a solução tampão Sikora para os solos brasileiros (TOLEDO, 2011). Nesse estudo, foram incluídas 42 amostras de solos, abrangendo solos da região da serra gaúcha e do planalto central do RS e solos do Estado do Maranhão e do Mato Grosso. Os resultados levaram a elaboração de uma versão do método mais adequada aos solos do RS testados, denominado de TSM (Tampão Santa Maria).

Os resultados obtidos nesse estudo, embora satisfatórios, abrangeram um número reduzido de amostras de solo e, por esse motivo, até a presente data, não foi adotado pela ROLAS. Nesse contexto, este trabalho foi realizado com o objetivo de apresentar mais resultados, envolvendo um número maior de amostras de solos e abrangendo mais regiões do Estado do RS, e com os mesmos objetivos deste estudo foram incluídas amostras do Estado do MT.

2 HIPÓTESES

2.1 O método SMP, utilizado na estimativa da acidez potencial ($H + Al$) no Estado do RS, pode ser substituído pelo método Sikora original ou por sua versão TSM.

2.2 Os métodos SMP RS/SC, Sikora e sua versão TSM podem ser utilizados para estimar a acidez potencial ($H + Al$) dos solos no Estado do Mato Grosso.

2.3 Os métodos Sikora e TSM reproduzem os valores de pH obtidos pelo método SMP e, portanto podem ser utilizados para a recomendação de calcário nos Estados do RS e MT.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Avaliar a eficácia do método Sikora original e sua versão TSM na estimativa da acidez potencial num amplo grupo de solos, dos Estados do Rio Grande do Sul (RS) e Mato Grosso (MT), com características químicas e físicas contrastantes.

3.2. Objetivos Específicos

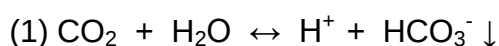
- a) Avaliar a acurácia e a universalidade dos métodos SMP, Sikora e sua versão TSM para a estimativa da acidez potencial do solo ($H + Al$), determinada por extração com acetato de cálcio pH 7,0, para solos das regiões Planalto e Sul do RS e solos das regiões do Município de Sapezal, região Centro-Oeste e região Sul do Estado do MT.
- b) Comparar os valores de pH obtidos pelo método SMP com os obtidos pelos métodos Sikora e sua versão TSM em solos dos Estados do RS e MT, visando a sua substituição por um desses dois métodos.
- c) Verificar se a recomendação de calcário, atualmente feita com base no pH SMP pode ser feita com os valores de pH obtidos com o método e Sikora e TSM, sem alteração nos procedimentos usados nos Estados do RS e MT.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Origem da acidez do solo

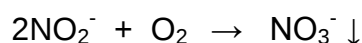
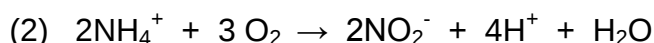
O processo de acidificação do solo, nas regiões subtropicais e tropicais, inicia com a solubilização da rocha, com posterior perda de cátions do solo associada à retenção preferencial de cátions de maior valência, como o alumínio, nos sítios de troca da argila e da matéria orgânica (Meurer et al., 2010).

A acidificação do solo pode também dar-se por lixiviação de bases na presença de ânions, que atuam como co-íons e carregadores de cátions. Sendo esses adicionados ao solo através da mineralização da matéria orgânica, liberando os íons NO_3^- , SO_4^{2-} e Cl^- e ainda, através de algumas reações químicas onde algumas são realmente importantes, como a dissociação do gás carbônico (1) e a nitrificação (2), segundo as reações:



Essa reação, além de liberar o íon H^+ , libera também o íon bicarbonato, que arrastará bases em profundidade. Ela é importante em solos com pH mais elevado, e pouco expressiva em solos ácidos.

A nitrificação consiste na oxidação do nitrogênio a partir do amônio até nitrato, a qual é realizada pelas bactérias do gênero *Nitrobacter* e *Nitrossomas*:



De mesmo modo que a reação anterior, a nitrificação libera íons H^+ e co-íons, que no caso é o nitrato (Quaggio, 1986).

Apenas uma pequena concentração de íons H^+ encontra-se dissociada na solução do solo e em equilíbrio com a porção maior ainda ligada às partículas do solo. A porção de íons H^+ presentes na solução do solo é quimicamente ativa e exerce influência na vida das plantas. Por essa razão, ela é definida como acidez ativa e é determinada por meio de sua atividade, através do índice de pH.

A acidez potencial é definida como sendo o restante dos íons H^+ e Al^{3+} que permanecem na forma não dissociada na fase sólida. Parte da acidez potencial é representada pelo íon Al^{3+} , o qual está ligado à fase sólida através de força eletrostática, portanto é trocável, ou seja, é capaz de ser trocado por um outro cátion, quando o solo for lavado ou agitado com uma solução de sal neutro não

tamponado. A essa parte da acidez potencial constituída pelo Al^{3+} dá-se o nome de acidez trocável. (Van Raij, 1989). A acidez não trocável é representada pelo H de ligação covalente, associado a compostos orgânicos como: ácidos carboxílicos, fenólicos(hidroxi-benzeno), presentes no húmus, e pelo o H ligado aos óxidos de Al e Fe. (Fig. 1).

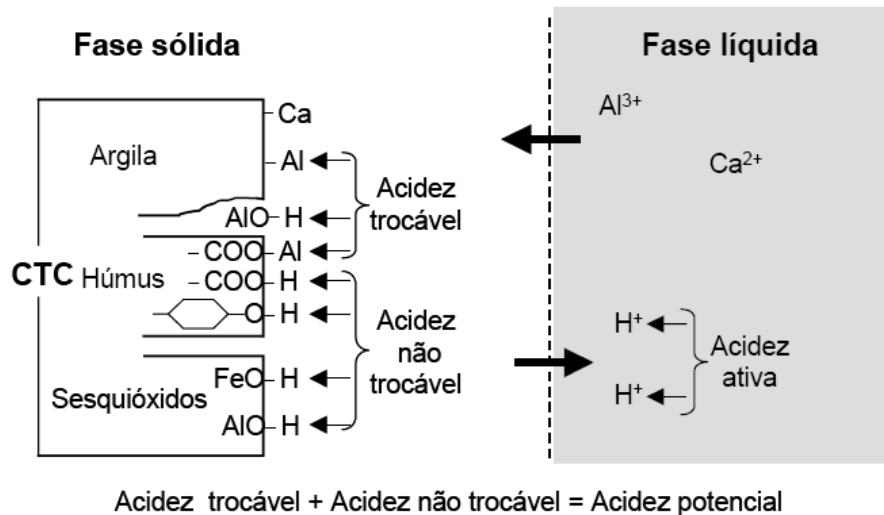
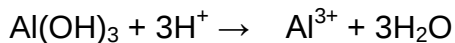


Figura 1 - Componentes da acidez do solo, na fase sólida e líquida . Fonte: Lopes & Guilherme (2004) adaptado de Van Raij & Quaggio (1994).

A presença do alumínio no solo é originada pela ação do próton H^+ sobre os minerais primários, de argila, óxidos hidratados e outros componentes coloidais, segundo a reação:



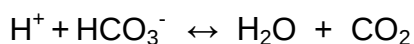
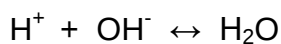
Segundo Caires (2004), a capacidade de troca catiônica do solo é definida como a capacidade máxima de retenção de cátions que o solo apresenta em pH 7,0. O cálculo da CTC engloba a soma de bases ($\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}$) + acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$). Considerando que a CTC do solo em pH 7,0 tem valor constante, significa dizer que, quanto maior for a fração da CTC ocupada por bases trocáveis, menor será a concentração de $\text{H} + \text{Al}$ presente no complexo coloidal e menor a dissolução de H^+ na solução do solo, conferindo maior pH.

4.2 Neutralização da acidez do solo

O objetivo da calagem é elevar o pH do solo. Nos solos agricultáveis, para se determinar a necessidade de calcário, deve-se determinar a acidez titulável ao pH desejado. A neutralização completa de todos os íons H^+ , ou seja, de toda a acidez potencial, só se dá ao redor de 8,5 ou mais, devido à presença de ácidos muito fracos no solo (VOLKWEISS, 1989).

Os corretivos da acidez do solo mais utilizados na agricultura são rochas calcárias moídas, constituídas por misturas de minerais, como a calcita e a dolomita, que contém em suas composições, carbonatos de cálcio ($CaCO_3$) e de magnésio ($MgCO_3$). São menos usadas rochas calcárias calcinadas, que contém óxidos de cálcio (CaO) e de (MgO), compostos bem mais solúveis que os carbonatos (Quaggio, 1986).

A pequena dissolução dos carbonatos de cálcio e magnésio que ocorre em presença de água e gás carbônico, é suficiente para desencadear uma série de reações, que resultam na neutralização da acidez do solo:



A hidroxila reage com o íon hidrogênio da solução do solo, formando água. O bicarbonato reage também com o hidrogênio, originando gás carbônico e água. Dessa forma, a reação desloca-se para a direita enquanto houver íons hidrogênio em solução. Deve-se lembrar que a acidez ativa em solução está em equilíbrio com a acidez potencial. Isso permite que a acidez potencial do solo seja gradativamente neutralizada, inclusive o íon alumínio, que é precipitado na forma de $Al(OH)^3$ (VAN RAIJ, 1991).

É importante destacar que a neutralização da acidez deve levar em conta o poder de neutralização do corretivo e, no caso de rochas moídas, a granulometria. Assim, a avaliação da eficiência dos calcários tem sido feita com base no poder de neutralização (PN), em função do conteúdo de neutralizantes equivalente em

CaCO₃, e a reatividade (RE), que depende da granulometria, de acordo com a expressão:

$$\text{PRNT (\%)} = \frac{\text{PN} \times \text{RE}}{100}$$

O PN indica o potencial químico do corretivo em neutralizar a acidez, ao passo que a RE indica a velocidade de ação do corretivo na correção da acidez do solo. (CAIRES et al, 2008).

4.3. Métodos de determinação da acidez ativa e potencial do solo

4.3.1. Determinação da acidez ativa

A determinação da acidez ativa baseia-se na leitura de pH de uma suspensão de solo em água ou em solução salina. A concentração de sais no solo proveniente de diferentes épocas ou ainda de adição recente de adubo fornecem valores variáveis de pH. Para contornar este problema alguns laboratórios determinam a acidez ativa com suspensão de solo em solução de CaCl₂ 0,01 M.

4.3.2. Determinação da acidez potencial

Método clássico com solução tampão de acetato de cálcio 0,5 M pH 7,0

O método clássico de determinação dos componentes da acidez potencial (H + Al) é a extração com uma solução tampão de acetato de cálcio 0,5 M a pH 7,0.

No entanto, este método apresenta algumas limitações, tais como: a difícil visualização do ponto de viragem do indicador durante a titulação (Pereira et al., 1998), a elevada quantidade de acetato de cálcio consumida por amostra, o que resulta em aumento do custo da análise (Silva et al., 2000), a elevada demanda de tempo operacional, decorrente das etapas de extração e determinação titulométrica, o que dificulta a automação do processo (Pavan et al., 1996; Escosteguy & Bissani, 1999). Além disso, subestimativas dos valores de H + Al em solos com pH acima de 6,0 podem ser devidas ao deficiente tamponamento da solução de acetato de cálcio em valores de pH próximos de 7,0 (VAN RAIJ, 1991).

Método SMP (Shoemaker, Mclean e Pratt , 1961)

A solução SMP é formada por quatro bases fracas: trietanolamina, p-nitrofenol, cromato de potássio e acetato de cálcio e de um sal de fundo, cloreto de cálcio, que tem como objetivo fazer a troca com Al^{+3} . Esta solução atua para a estimativa da acidez potencial do solo, podendo ser usada também para a recomendação de calcário. Este método tem uma elevada correlação com o método de extração com acetato de cálcio 0,5 M a pH 7,0 M e, por este motivo, são relacionados com um conjunto de solos gerando uma equação com um bom ajuste matemático.

O método baseia-se, em um primeiro momento, na capacidade de troca de cátions do solo, em que a presença de um sal de cálcio ou potássio na composição do método tem como função a troca com Al^{+3} , ligados à fase sólida do solo representando toda a acidez potencial do solo, e em um segundo momento, à aceleração da hidrólise do alumínio. As bases: p-nitrofenol, cromato de potássio, acetato de cálcio e trietanolamina, reagem com os prótons liberados pela hidrólise provocada pelo alumínio e os íons H^+ , deslocando o equilíbrio da reação até que todo o alumínio hidrolisável tenha reagido. Em consequência, ocorre uma diminuição no valor de pH inicial da solução, e esta diminuição depende da capacidade tamponante de cada tipo de solo (TOLEDO 2011).

A modelagem do comportamento potenciométrico da trietanolamina, uma das quatro bases tamponantes, em função da neutralização da acidez do solo, é demonstrada no apêndice 8.

Em diversos países, a solução-tampão SMP (Shoemaker et al., 1961) é o método mais utilizado na avaliação da acidez potencial do solo. Apesar de ter sido inicialmente desenvolvida para determinar a necessidade de calagem e estar sendo amplamente difundida para este fim (Rajj et al., 1979; Sousa et al., 1980; Ernani & Almeida, 1986), o método SMP vem sendo cada vez mais empregado no Brasil para a avaliação da acidez potencial. Isso se deve, principalmente, à simplicidade, rapidez, baixo custo e eficiência desse método.

A concentração dos reagentes da solução tampão SMP leva em conta as características dos solos das diversas regiões do país (Tabela 1). Com isto trabalhos foram realizados para estimar a acidez potencial dos solos dos diferentes Estados com o objetivo de estabelecer a equação que melhor descreve a relação entre o teor de $(H + Al)$ e o pH SMP. Para isto, Quaggio et al. (1985) apresentaram o modelo de

equação em função das concentrações para o estado de São Paulo, Corrêa et al. (1985) para o estado de Minas Gerais, Sousa et al. (1989) para os cerrados, Pavan et al. (1996) para o estado do Paraná, Maeda et al. (1997) para o estado do Mato Grosso do Sul, Escosteguy & Bissani (1999) para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Nascimento (2000) para o estado de Pernambuco, Silva et al. (2000) para solos do semi-árido do nordeste brasileiro e Silva et al. (2002) para os solos da região norte do estado de Minas Gerais.

Por outro lado a solução tampão SMP apresenta duas substâncias tóxicas de alto poder de contaminação ambiental, além de causar danos aos seus manipuladores.

P-nitrofenol: por ingestão causa irritação ao trato intestinal, a formação de metahemoglobina que resulta em cianose (lábios azuis), dores de cabeça, tonturas e colapso e por contato com a pele e os olhos, sintomas de vermelhidão, coceira e dor, podendo também causar queimaduras e a exposição crônica pode causar danos ao fígado e aos rins (TOLEDO 2011).

Toxicidade ambiental: invertebrados – $CL_{50}/48h$ (*Daphnia magna*) 22 mg l^{-1} . Peixes – $CL_{50} /96 h$ (*Lepomis macrochirus*) 5,8 mg l^{-1} , onde CL_{50} é a concentração letal de um agente em um meio que causa mortalidade em cinquenta por cento da população exposta, durante um determinado período de tempo (CETESB, 2003).

Cromato de potássio: por inalação é extremamente destrutivo aos tecidos das membranas e mucosas do trato respiratório superior, por ingestão pode causar queimaduras severas na boca, garganta e estômago levando a morte. Em contato com a pele pode causar úlceras e intoxicação renal sistêmica e afetar as funções do fígado. Em exposição prolongada pode causar ulceração e perfuração do septo nasal, irritação das vias respiratórias, danos ao fígado e rins e ulceração de pele. Essas ulcerações podem penetrar ao tecido ósseo produzindo os chamados “buracos de cromo”. Conhecido por ser carcinogênico a humanos (TOLEDO 2011).

Toxidade aguda: DL_{50} (oral, rato) 180 mg kg^{-1} . Toxidade subaguda a crônica: em experiências realizadas em animais apresentou-se cancerígena.

Estas substâncias tóxicas permanecem tanto no sobrenadante como no solo e por este motivo deveriam ter descarte adequado.

Tabela 1 – Comparação entre a composição original do tampão SMP e a utilizada nas diferentes regiões do Brasil. (TOLEDO, 2011)

	Shoemaker et al. (1961)			Raij e Quaggio (1983)*			Tedesco et al. (1995)**		
Substâncias	g l ⁻¹	mM	mM ⁽¹⁾	g l ⁻¹	mM	mM ⁽¹⁾	g l ⁻¹	mM	mM ⁽¹⁾
Trietanolamina	2,8	18,8	12,5	5,6	37,5	6,3	5,6	37,5	12,5
p-nitrofenol	1,8	12,9	8,6	3,6	25,9	4,3	3,6	25,9	8,6
Cromato de K	3,0	15,5	10,3	6,0	30,9	5,2	6,0	30,9	10,3
Acetato de Ca	2,0	12,6	8,4	4,0	25,2	4,2	2,0	12,6	4,2
Cloreto de Ca	53,1	361,2	240,8	106,2	722,4	120,4	106,0	721,0	240,3
Proporção	Solo 1	Água 1	Tampão 2	Solo 1	CaCl ₂ ⁽²⁾ 2,5	Tampão 0,5	Solo 1	Água 1	Tampão 0,5
pH inicial		7,5			7,5			7,5	

* Composição utilizada para estimativa da acidez potencial em solos das regiões sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste do Brasil. ** Composição utilizada para estimativa da acidez potencial em solos dos estados do RS e de SC. ⁽¹⁾ Concentração na suspensão solo-água-tampão ⁽²⁾ Solução 0,01 M CaCl₂.

Método solução tampão Sikora

SIKORA (2006) propôs uma nova solução sem a presença do p-nitrofenol e o cromato de potássio. Para a substituição do p-nitrofenol (pKa = 6,85) e do cromato de potássio (pKa = 5,81) foi levado em conta estes valores de pKa. O p-nitrofenol foi substituído pelo imidazol (pKa = 6,95) e o cromato de potássio foi substituído pelo MES (Ácido 2 (N-morfino) etanosulfônico monohidratado) (pKa = 6,10) (Tabela 2).

O pH ajustado para 7,5 com hidróxido de sódio 40% (v/v) ou ácido clorídrico 50% (v/v), e a leitura em uma proporção de solo, água, tampão de 1:1:1, sendo o valor determinado nesta medida denominado de pH-Sikora.

O cloreto de potássio foi escolhido para substituir o cloreto de cálcio da solução SMP. O potássio é um cátion monovalente, tem uma menor capacidade de trocar que o cálcio nos sítios de troca com o alumínio (MENGEL ET AL., 2001). No entanto, em uma concentração de 1,5 molar na suspensão solo-água-tampão teríamos a mesma concentração com o cloreto de cálcio, para a obtenção do alumínio trocável (BARNHISEL & BERTSCH, 1982). O potássio foi também escolhido porque apresenta uma baixa probabilidade de precipitação com ânions porque a solubilidade dos sais de potássio é maior que a de os sais de cálcio (WINDHOLZ et al., 1976).

A equação de calibração da solução tampão Sikora foi obtida com 342 amostras: sendo 255 amostras do Estado de Kentucky e 87 amostras do controle de qualidade do Programa de Testes em Solos da Universidade de Kentucky, incluindo o laboratório de Lexington e Princeton. Na comparação dos valores obtidos de pH com o tampão Sikora e o tampão SMP não houve diferença significativa para os solos testados (SIKORA, 2011).

A concentração dos reagentes encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Concentração dos reagentes da Solução Tampão Sikora

Substâncias	g l⁻¹	mM	mM⁽¹⁾
Cloreto de potássio	149 g	2000	1000
Ácido Acético	5,11 ml	89,26	44,63
MES	6,7 g	31,42	15,71
Imidazol	0,936 g	13,75	6,88
Trietanolamina	9,23 ml	69,58	34,79
Proporção	Solo	Água	Tampão
	1	1	1
pH inicial		7,5	

Método solução tampão Santa Maria – TSM

A solução Sikora foi testada em 23 amostras de solos, sendo oito da região da Serra e 12 de solos de várzea do RS e três do cerrado brasileiro. Nesse teste, o tampão Sikora não apresentou a mesma eficiência que a solução tampão SMP, indicando a necessidade de alterações em sua composição na busca de tal objetivo (KAMINSKI, 2007).

Na composição deste tampão foram utilizados os reagentes originais do tampão SMP e apenas foram substituídos os reagentes tóxicos. O cromato de K foi substituído pelo MES e o p-nitrofenol pelo imidazol, conforme proposto em Sikora (2006).

Como as características mineralógicas dos solos do Rio Grande do Sul são diferentes dos solos testados por Sikora (Kaminski et al, 2007). As concentrações da solução Sikora foram alteradas para que a resposta final em comparação com a solução SMP fosse obtendo-se a solução tampão TSM mostrada na tabela 3 (TOLEDO, 2011).

Tabela3. Concentração dos reagentes da Solução Tampão Santa Maria - TSM.

Substâncias	g l ⁻¹	mM	mM ⁽¹⁾
Cloreto de Ca	106,0 g	721,1	240,37
Acetato de Ca	3,65 g	20,74	6,91
MES	6,55 g	30,72	10,24
Imidazol	1,18 g	17,33	5,78
Trietanolamina	5,0 ml	36,69	12,56
Proporção	Solo 1	Água 1	Tampão 0,5
pH inicial		7,5	

4.4 A solução tampão e seu comportamento em contato com o solo

Solução tampão é a solução que resiste a variação de pH, quando a ela for adicionado uma pequena quantidade de ácido ou base, mesmo que sejam fortes. Estas soluções, em geral, são formadas por um ácido ou uma base fracos com o seu sal. A resistência a variação do pH vem do princípio que os ácidos fracos ou bases fracas não se ionizam por completo, predominando na solução moléculas inteiras. Ao adicionar-se uma solução, tanto de caráter ácido como básico, a reação desloca-se para formação de moléculas do ácido ou base fracas presente no meio, com isso, a acidez ou basicidade do meio não aumenta e o pH não varia. Evidentemente, uma solução tampão só resistirá às variações de pH até que o ácido ou o sal da mesma forem consumidos (FIORUCCI, 2001).

Os métodos SMP, Sikora e TSM tem como base esse princípio, sendo as soluções de quatro bases, fracas que tem como objetivo quantificar a acidez potencial do solo em função da neutralização dessas bases através da leitura de pH.

O comportamento potenciométrico da trietanolamina, uma das quatro bases da solução tampão que constituem os métodos SMP, Sikora e TSM, foi descrito por Sikora (2006) e Toledo (2011) (Apêndice 8).

4.5 Capacidade tamponante do Solo

A Figura 2 mostra uma curva de titulação de dois solos, relacionando a quantidade de base (calcário) adicionada ao solo com o valor de pH. Diferente de

um ácido simples, o solo não revela um ponto final de titulação, reagindo lentamente com a calcário adicionado. Isto ocorre porque no solo existem várias formas de ácidos fracos presentes tanto na matéria orgânica do solo como nos argilominerais, além da presença do alumínio trocável. Estas formas de acidez vão dissociar o próton H^+ em faixas distintas de pH. Observa-se que a quantidade de calcário necessária para a mudança de pH do solo A é menor que no solo B, demonstrando diferenças na acidez potencial destes solos. Essas diferenças são denominadas de poder tampão do solo. Solos com maiores teores de argila e MO tendem a apresentar maior poder de tamponamento exigindo uma quantidade maior de calcário para neutralizar sua acidez (TOLEDO, 2011).

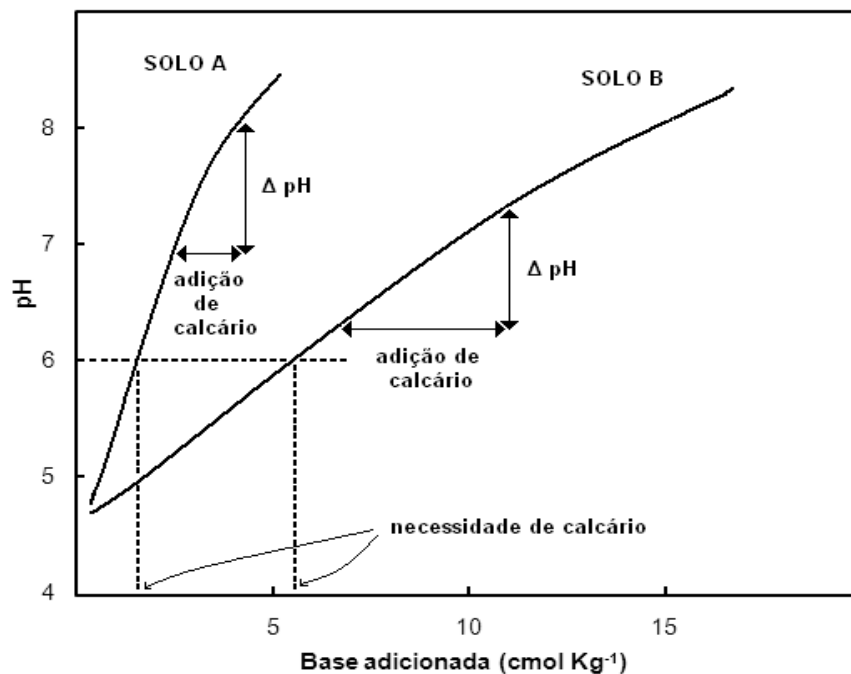


Figura 2 - Curva de titulação do solo A, com baixa capacidade tamponante, e do solo B, com alta capacidade tamponante. As necessidades de calcário desses solos são indicadas (em unidade de centímol de base por quilograma de solo) assumindo-se correção para atingir pH 6,0. Adaptado de McBride (1994).

4.6. Mineralogia dos solos e a Acidez Potencial

A fase sólida do solo é composto basicamente pelo ânion O^{-2} (cerca de 46% da massa e 4% do volume), e pelos cátions Si^{+4} , Al^{+3} , Fe^{+3} e Fe^{+2} e Mg^{+2} . A soma desses 5 elementos representam aproximadamente 90% da massa do solo e mais de 96% do volume. De modo geral todos os cátions ligam-se com O^{-2} , com

coordenação 4 ou 6, comum para estes elementos, formando folhas de tetraedros e octaedros, respectivamente.

As duas unidades básicas são unidas formando os minerais filossilicatos, dando origem aos minerais cristalinos do tipos 2:1, 1:1 e mistos. Os minerais 2:1 são chamados de lamelares, ou seja, aqueles compostos por uma folha de octaedros de Al intercalada por duas folhas de tetraedros de Si. Os principais exemplos desta classe de mineral são os minerais primários, como as micas biotita, muscovita e flogopita e os minerais secundários, como as vermiculitas e esmectitas (SHULZE, 1989). Dentro deste grupo de minerais secundários deve-se considerar a distinção entre expansíveis (esmectitas), de expansibilidade limitada (vermiculita) e não expansíveis (ilita e vermiculita com hidróxido entre camadas).

Comparando-se argilas 2:1 e 1:1, a primeira é a que tem maior número de cargas permanentes, oriundas de substituições isomórficas (90 a 95%) e possibilitando, o acesso de cátions às posições de troca existentes entre unidades adjacentes. Suas partículas unitárias são de menor tamanho, o que implica numa superfície específica maior, conseqüentemente terá uma maior CTC, considerando também maior densidade de carga, que é maior por unidade de área, influenciando diretamente a acidez potencial dos solos.

A argila 1:1 e os óxidos não apresentam substituições isomórficas, não possibilita a acessibilidade interna de cátions, e suas partículas são maiores do que a de outros minerais, logo, exibem uma menor CTC, resultante somente das cargas dependentes de pH (TISDALE et al., 1985).

Dependendo do grau de intemperismo podem ser formados minerais secundários do tipo 2:1, 1:1 e óxidos. Alta intensidade de intemperismo leva a remoção de mais sílica e bases do perfil do solo, resultando em uma constituição mineralógica da fração argila com predominância de minerais silicatados 1:1 (caulinita) e óxidos de ferro e de alumínio (RAIJ, 1986), com grande importância nas reações físico-químicas do solo, como a acidez.

Nas argilas silicatadas, em ambiente de elevada acidez, os cátions de troca dominantes são ($H^+ + Al^{+3}$), sendo que, as cargas permanentes ou intrínsecas, são preponderantemente neutralizadas pelo H^+ . O Al^{+3} é o principal íon na resistência à elevação de pH quando se adiciona corretivo no solo, até pH 5,0. Estas reações acontecem em solução aquosa, em pH que varia de 4,0 a 5,0, podendo, em alguns

casos, com elevados teores de alumínio trocável, as reações se prolongarem por pHs mais elevados (CHAO e HARWARD, 1962).

Solos que apresentam mineralogia diferenciada mostram uma variação na relação entre o grau de saturação de bases e pH, sendo estas específicas para cada classe de solos. Para um mesmo valor de pH a saturação de bases (V%) é maior em solos com predomínio de argilas do tipo 2:1 do que os solos com presença de caulinita e óxidos (Silva, 2006).

Os solos que apresentam um maior grau de intemperismo mostram um menor poder tamponante em valores mais elevados de pH, do que os solos menos intemperizados que apresentaram maior poder tampão em valores menores de pH, (Silva, 2006).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Coleta das amostras de solo

Para a comparação entre os métodos SMP-RS/SC, Sikora e sua versão, o método Tampão Santa Maria, foram coletadas um total de 213 amostras de solos, sendo 110 amostras do Estado do Mato Grosso e 103 do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 3).

Das áreas amostradas nos dois estados estão representados solos de áreas cultivadas, não cultivadas, utilizadas para pastagem, de mata nativa e em pequenas propriedades com cultivo de hortifrutigranjeiros.

A coleta das amostras de solo do Estado do MT foi dividida em três regiões: sendo 20 amostras da Região do Município de Sapezal, 65 amostras da Região Centro Norte e 25 amostras da Região Sul, nos meses de outubro e novembro de 2010 e enviadas ao Departamento de Solos em janeiro de 2011 (Apêndice 1 e 2).

No Estado do RS, a coleta das amostras de solo foi dividida em duas Regiões: sendo 46 amostras da Região Sul do Estado, coletadas na Planície Costeira interna, situada entre a Encosta Leste do Escudo Sul-Riograndense e a Laguna dos Patos, e a parte sul da Planície Costeira externa, que se estende de Rio Grande ao Chuí, coletadas nos meses de dezembro de 2010 e janeiro do seguinte ano, e 57 amostras da Região do Planalto Central, coletadas no mês de agosto de 2012. Os pontos de amostragem foram identificados através de coordenadas geográficas com

o uso do GPS (Sistema de Posicionamento Global) de navegação, para as amostras do Estado do RS (Apêndice 3 e 4).

As amostras com aproximadamente 500 g de solo foram coletadas em um único ponto em cada local de amostragem e a uma profundidade de 0 a 20 cm utilizando-se uma pá de corte ou de jardim. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos de 2 kg, devidamente identificados.

As amostras de solo foram encaminhadas ao laboratório, colocadas em estufa com temperatura controlada entre 60-65°C, destorroadas e tamisadas em peneira de 2 mm e acondicionadas em potes fechados.

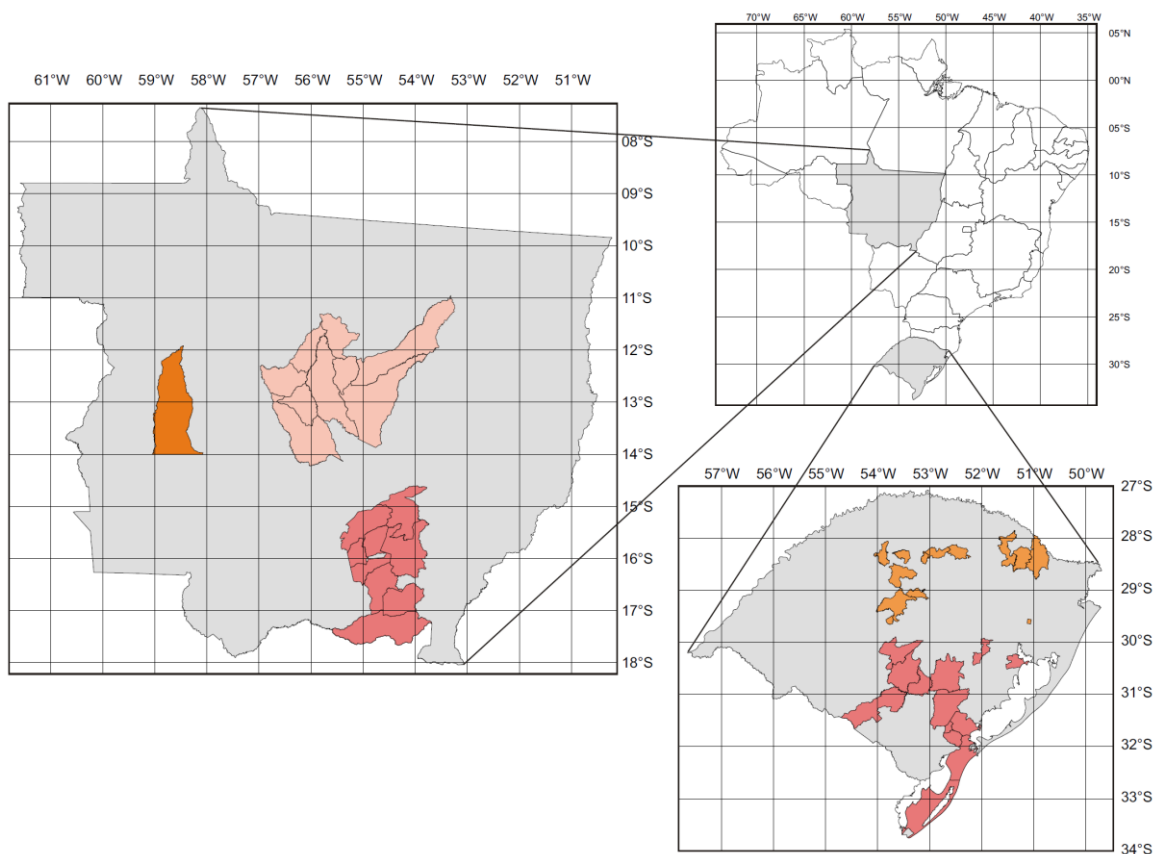


Figura 3 - Mapa do Brasil identificando os municípios de coleta das amostras de solos nos Estados do MT e RS.

5.2 Local de estudo

As determinações químicas e físicas foram realizadas nos laboratórios de química e fertilidade do solo, no laboratório de nutrição e adubação de plantas e no

laboratório de física do solo do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, na UFPel.

5.3 Determinações de atributos físicos e químicos do solo

5.3.1 Granulometria

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997), sendo a dispersão proporcionada pelo emprego de hidróxido de sódio 1N e agitação mecânica lenta por 16 horas. A fração argila foi separada por sedimentação, segundo a lei de Stokes (1841).

5.3.2 Acidez ativa (pH)

As leituras de pH foram feitas com auxílio de um peagâmetro de bancada Digimed (DM2-P), utilizando um eletrodo combinado de pH modelo (DMC-1), com junção de cerâmica e sistema de referência Ag/AgCl. Para a calibração do peagâmetro, foram utilizados padrões de trabalho pH 4,0 e 7,0. Todos os procedimentos laboratoriais foram realizados a temperatura de 25 ± 2 °C.

A acidez ativa foi avaliada através de medição de pH em solução aquosa, utilizando a relação 1:1 de solo:água segundo método descrito em Tedesco et al., (1995). Assim, mediu-se 10 cm³ de solo, que foram acondicionados, em frasco plástico adicionou-se 10 ml de água destilada, agitando-se com bastão de vidro, ficando em repouso por 30 minutos. Decorrido esse tempo, as amostras foram novamente foram agitadas e foi determinado o pH em água.

5.3.3 Acidez Potencial (H + Al)

A acidez potencial foi determinada por extração e por estimativa com a relação das leituras de pH obtidas com os métodos SMP, Sikora e sua versão tampão TSM.

A extração foi feita com solução de acetato de cálcio 0,5 mol l⁻¹ a pH 7,0, e determinado por titulação com NaOH 0,0125 mol l⁻¹, segundo Embrapa (1997). Na determinação da acidez potencial, 5 gramas de terra fina seca em estufa (TFSE) e 75 ml de solução de acetato de cálcio (Ca(CH₃COO)₂.H₂O) 0,5 mol l⁻¹ a pH 7,0 foram colocados m frasco “snap-cap” com capacidade de 100 ml. Após agitação por 30

minutos em agitador horizontal, com 120 rpm, e repouso por 16 horas, retirou-se uma alíquota de 25 ml do sobrenadante e, a seguir, adicionou-se 4 gotas de fenolftaleína a 1% e determinou-se a quantidade de (H + Al), por titulação, com NaOH 0,0125 M padronizado com ácido sulfúrico 0,025 M.

A estimativa da acidez potencial foi realizada empregando-se os valores de pH obtidos com os métodos: SMP-RS/SC (Tedesco et al., 1995), para as amostras do Estado do RS e MT, Sikora (Sikora, 2006) e TSM (Toledo et al., 2011) cuja as composições encontram-se na Tabela 4. Para determinar pH SMP e TSM foi empregado o método descrito por Tedesco et al, (1995), na relação 1:1:0,5 de solo:água:tampão. Após a leitura de pH em água, adicionou-se 5 ml de solução SMP, agitou-se e permaneceu em repouso por 20 minutos, novamente agitou-se e determinou-se o pH. Para a leitura do pH Sikora, seguiu-se o descrito em Sikora (2006) na relação 1:1:1 de solo:água:tampão, mas utilizou-se agitação manual, visto que, a agitação feita por Sikora emprega agitador mecânico, onde as amostras com o tampão são agitadas por 10 min a 180 batidas por minuto.

Tabela 4 – Relação dos reagentes e quantidades para 1 l de solução tampão SMP, Sikora e TSM.

Reagentes	SMP ⁽¹⁾	Sikora ⁽²⁾	TSM ⁽³⁾
Acetato de cálcio	2,22 g	-	3,65 g
Cloreto de potássio	-	149 g	-
Cloreto de cálcio	106 g	-	106 g
Cromato de potássio	6 g	-	-
Trietanolamina	5 ml	9,23 ml	5 ml
Ácido acético	-	5,11 ml	-
Imidazol	-	0,936 g	1,18 g
MES (ácido 2-(N-morfolino) etanosulfônico monohidratado)	-	6,7 g	6,55 g
p-nitrofenol	3,6 g	-	-
Hidróxido de sódio (40% p/p)	1,5 ml	5 ml	1,5 ml

⁽¹⁾ Tedesco et al., 1995. ⁽²⁾ Sikora, 2006. ⁽³⁾ Toledo, 2011.

5.3.4 Carbono orgânico total

O teor de carbono orgânico total (COT) foi determinado, segundo o método de combustão de Walkley-Black descrito em Tedesco et al (1995), que consiste em oxidar os compostos orgânicos, na presença de ácido sulfúrico, com dicromato de potássio 1 N. O volume de dicromato de potássio remanescente da oxidação do carbono foi titulado com solução de sulfato ferroso 0,5 M.

5.3.5 Alumínio, cálcio e magnésio trocáveis

A análise de alumínio, cálcio e magnésio foi realizada por extração com cloreto de potássio 1 mol l⁻¹ segundo Tedesco et al. (1995). Na determinação, pesou-se 5 gramas de terra fina seca em estufa (TFSE) e foram colocadas em frasco “snap-cap” de 100 ml e adicionou-se 50 ml de solução cloreto de potássio (KCl) 1 mol l⁻¹. Após agitação de 30 minutos em agitador horizontal com 120 rpm e repouso por 16 horas, retirou-se uma alíquota de 25 ml do sobrenadante, para a determinação titulométrica do alumínio e 5 ml para as determinações de cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica.

5.3.6 Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_e), CTC_{pH7,0} e saturação por bases (V%)

A capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_e) no pH original do solo foi calculada pela soma das bases trocáveis Ca, Mg, K e Na e somado ao Al trocável e o resultado expresso em milimol de carga por quilograma de solo (mmol_c kg⁻¹).

$$S \text{ (soma das bases)} = Ca + Mg + K + Na \quad (1)$$

$$CTC_e = S + Al \quad (2)$$

A CTC_{pH7,0} foi calculada pela soma de bases (S) com o valor de H + Al

$$CTC_{pH7,0} = S + Al \quad (3)$$

A saturação por bases representa a proporção (%) da CTC_{pH7,0} ocupada por bases trocáveis Ca, Mg, K, e Na

$$V(\%) = (S/CTC) * 100 \quad (4)$$

5.3.7 Recomendação de calcário

A recomendação de calcário para os solos do Estado do RS foi feita para atingir pH 6,0 com base nos na tabela adotada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo - CQFS/RS-SC (2004), utilizando-se valores de pH obtidos com os métodos SMP, Sikora e TSM. A escolha do pH de referência 6,0 justifica-se pelo fato de que abrange a maioria das culturas.

O cálculo da necessidade de calcário para os solos do Estado do MT foi feito utilizando a saturação por bases (V%). A saturação por bases que se desejou alcançar foi de 50%, que satisfaz os sistemas que incluem a maioria das culturas de sequeiro semeadas no Cerrado (plantio direto ou convencional) segundo Sousa e Lobato (2004).

$$\text{N.C. (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{V_2 - V_1}{100} T \quad (5)$$

em que:

V_2 = saturação de bases que se deseja alcançar

$V_1 = S/T \times 100$ = saturação por bases atual

$T = ((H + Al) + S)$ em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$

$S = (Ca + Mg + K)$ $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$

5.3.8 Análise Estatística dos resultados

Os atributos físico e químicos dos solos, como: argila, MO, acidez potencial (H + Al), alumínio trocável, níveis de $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ e saturação por bases foram submetidos a análise de distribuição de frequência, onde os resultados foram divididos em cinco classes. Essas classes foram obtidas após ordenar os valores dos atributos em ordem crescente e obter a amplitude total, diminuindo o valor maior pelo menor. A amplitude de cada classe foi obtida dividindo a amplitude total pelo número de classes, no caso cinco. As classes foram formadas em ordem crescente, sendo o primeiro valor somado ao valor da amplitude de classe, em um intervalo aberto a direita, com o auxílio do programa Excel 2007[®].

A análise estatística descritiva e as correlações dos valores de pH obtidos com os métodos SMP, Sikora e TSM foram realizados com auxílio do programa Sigma Plot 11,0.

Para avaliar a capacidade de universalidade do uso dos extratores para a determinação da acidez potencial em diferentes regiões, as identidades dos modelos foram verificadas pela análise de covariância (ANCOVA). Para tanto, foram avaliadas, através do teste t, as significâncias dos coeficientes das interações entre os termos independentes e variáveis *Dummy*, introduzidas nos modelos originais para explicitar o efeito da região. O modelo completo utilizado para o teste é descrito pela equação 7.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \beta_3 D + \beta_4 *D*X + \beta_5 *D*X^2 \dots\dots\dots(6)$$

Onde:

Y = ao valor predito pelo modelo;

β_i , $i=1,\dots,5$ são os coeficientes do modelo;

X= o termo independente, e;

D= a variável *Dummy* que identifica a Região.

Inicialmente, foram avaliadas as identidades dos modelos ajustados para os dados da região sul e planalto do Rio Grande do Sul, com o intuito de verificar a viabilidade do uso de cada extrator em todo o estado. Após, avaliaram-se as identidades dos modelos ajustados para os dados do Rio Grande do Sul, considerando as duas regiões, e dados do Mato Grosso do Sul, com o intuito de verificar a viabilidade do uso de cada extrator em condições observadas na região centro-oeste. Todos os procedimentos de análise foram realizados com auxílio do software estatístico R (R CORE TEAM, 2010). (Apêndice 7).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Comparação dos métodos SMP-RS/SC (Tedesco et al.,1995), Sikora e TSM para a estimativa da acidez potencial (H + Al) dos solos do MT, e das regiões Planalto e Sul do RS

A figura 4 mostra-se a relação do método SMP-RS/SC com a acidez potencial (H + Al) determinada por extração com acetato de cálcio pH 7,0 nos solos das três regiões estudadas: MT, Região do Planalto e Sul do RS. O modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados, apresentando coeficientes de determinação R^2 igual a 0,87, 0,79 e 0,93 respectivamente.

A figura 5 mostra-se a relação do método Sikora com a acidez potencial (H + Al) determinada por extração com acetato de cálcio pH 7,0 nos solos das três regiões. O modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados, apresentando coeficientes de determinação R^2 = igual a 0,84, 0,71 e 0,90 respectivamente.

A figura 6 mostra-se a relação do método TSM com a acidez potencial (H + Al) determinada por extração com acetato de cálcio pH 7,0 nos solos das três regiões. O modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados, apresentando coeficientes de determinação R^2 = 0,85, 0,83 e 0,93 respectivamente.

Para avaliar a universalidade dos métodos aplicou-se teste de identidade dos modelos de uma equação através da análise de covariância (ANCOVA) dos parâmetros (β_0 , β_1 , β_2 , β_3 , β_4 e β_5).

A tabela 5 mostra os resultados dos testes dos coeficientes dos modelos completos para cada método das regiões do Planalto e Sul do Estado do RS. Para os métodos SMP e TSM não houve efeito significativo para nenhum dos coeficientes associados à variável *Dummy* (β_3 , β_4 e β_5) nas duas regiões, evidenciando a possibilidade de adoção de um modelo comum para a determinação da acidez potencial em ambas as regiões do Estado. Para o método Sikora observou-se efeito não significativo dos coeficientes associados ao método (β_1 e β_2), indicando uma possível inadequação do modelo quadrático para a estimativa da acidez potencial.

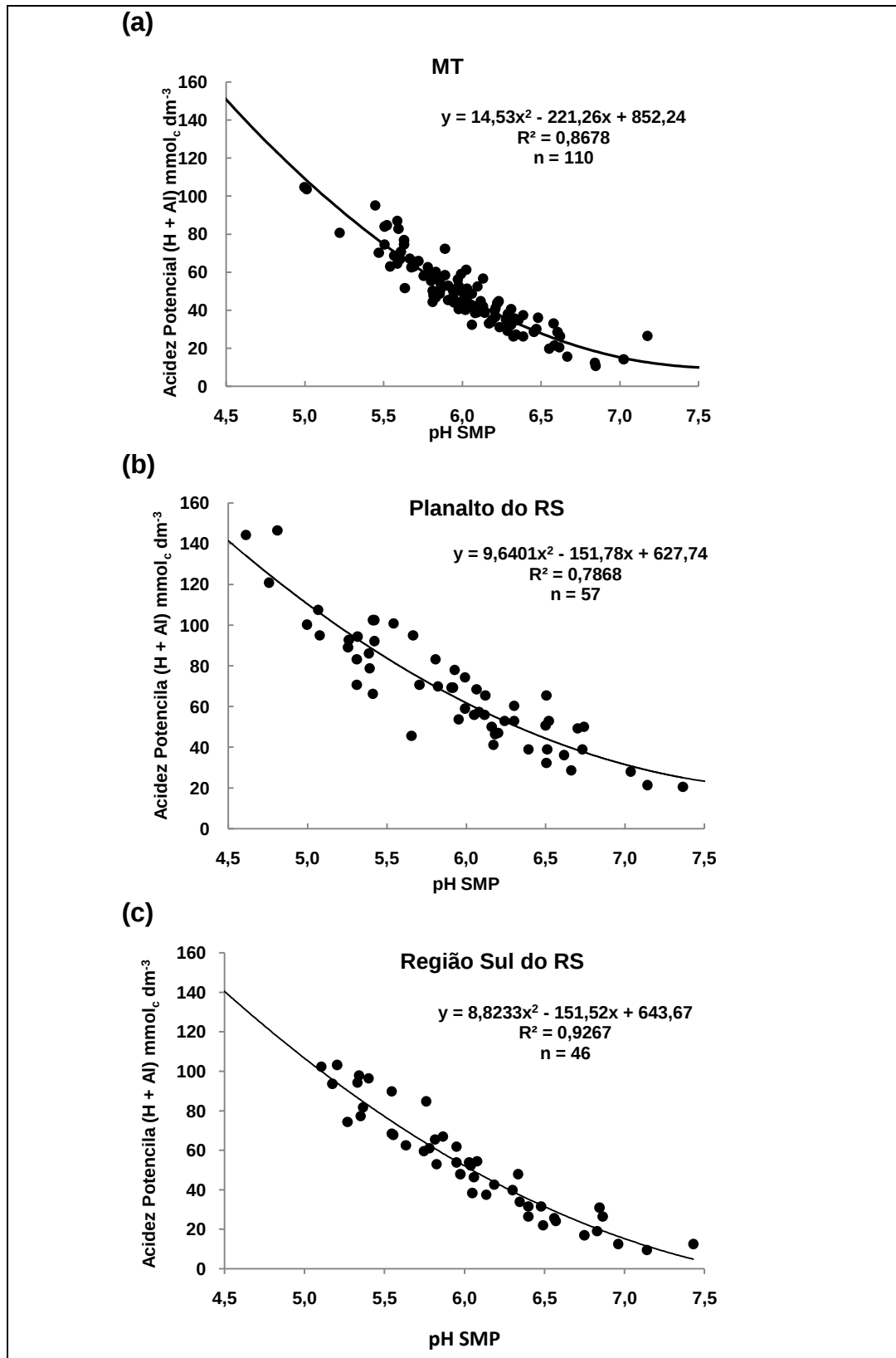


Figura 4 - Relação do método SMP Tedesco et al (1995) com a estimativa da acidez potencial (H + Al) dos solos nas 3 regiões: Estado do MT(a), Região do Planalto do RS(b) e Região Sul do RS(c).

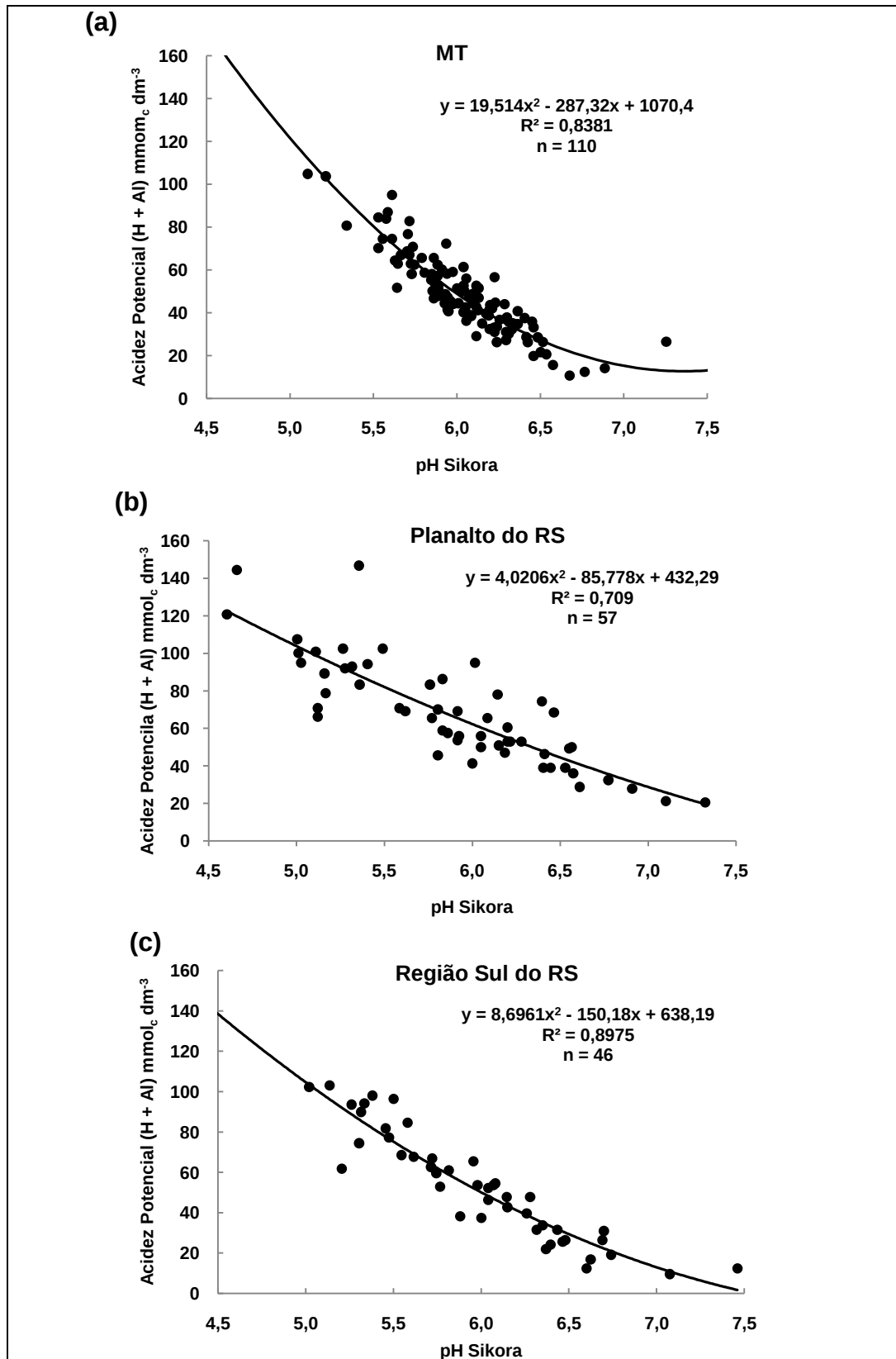


Figura 5 - Comparação do método Sikora (2006) para a estimativa da acidez potencial (H + Al) dos solos nas 3 regiões: Estado do MT(a), Região do Planalto do RS(b) e Região Sul do RS(c).

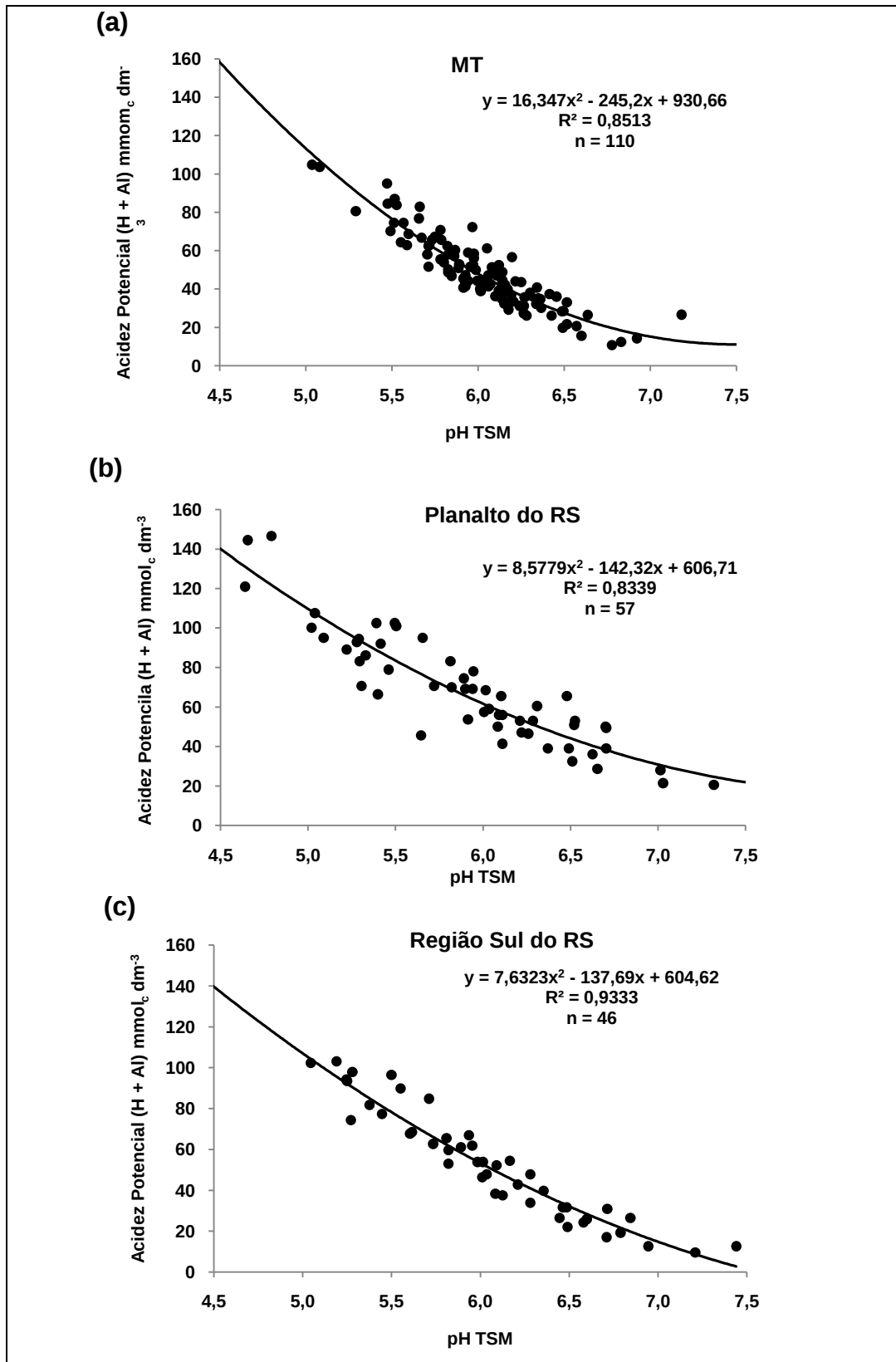


Figura 6 - Comparação do método TSM (2011) para a estimativa da acidez potencial (H + Al) dos solos nas 3 regiões: Estado do MT(a), Região do Planalto do RS(b) e Região Sul do RS(c).

Tabela 5. Valores estimados e probabilidade associada à estatística t, dos coeficientes dos modelos completos para cada método nas regiões do Planalto e Sul do RS.

Coef.	SMP		Sikora		TSM	
	Estim.	p t	Estim.	p t	Estim.	p t
β_0	567.25	<0,001**	358.583	0.015*	512.98	<0,001**
β_1	-127.95	0.001*	-59.809	0.227	-110.41	0.008**
β_2	7.34	0.025*	1.796	0.667	5.92	0.089
β_3	45.07	0.782	259.579	0.199	59.78	0.724
β_4	-13.25	0.809	-84.341	0.218	-16.79	0.769
β_5	0.65	0.888	6.457	0.262	0.85	0.859

* significativo a 5%;** significativo a 1%.

A tabela 6 mostra o erro padrão, o coeficiente de determinação (R^2) e a probabilidade F para os três métodos nas duas regiões do Estado do RS. Os maiores valores de R^2 e menor erro padrão do resíduo mostram que há muita similaridade entre o SMP e o TSM, obtendo-se uma maior acurácia para a predição da acidez potencial na seguinte ordem: SMP $\geq$ TSM > Sikora.

Tabela 6. Erro padrão, R^2 e probabilidade F dos modelos de predição da acidez potencial nas regiões do Planalto e Sul do RS.

Modelo	Erro Padrão Resíduo	R^2_{Ajustado}	p F
SMP	11,05	0,861	<0,001
Sikora	13,64	0,788	<0,001
TSM	11,45	0,851	<0,001

A tabela 7 mostra os resultados dos testes dos coeficientes dos modelos completos para cada método nos Estados do RS e MT e descrevem os parâmetros de qualidade do ajuste, os quais evidenciaram uma maior acurácia para a predição da acidez potencial na seguinte ordem: SMP $\geq$ TSM > Sikora.

A possibilidade de adoção de um modelo comum para os dados do RS e MT é observada, sem restrições apenas para o método SMP. Para o método Sikora, as probabilidades das estatísticas t mostram que os coeficientes dos termos associados à variável *Dummy* (β_3 , β_4 e β_5) exercem influência sobre o ajuste, inviabilizando a

adoção de um modelo comum de equação para as duas regiões do País. Para o método TSM as probabilidades das estatísticas t revelam que a adoção de um modelo de equação para as duas regiões do País é viável. Contudo, é necessário uma avaliação mais criteriosa, visto que esta só não é possível adotando-se um nível de significância de 1%.

Tabela 7. Valores estimados e probabilidade associada à estatística t, dos coeficientes dos modelos completos (RS-MT) para cada método.

Coef.	SMP		Sikora		TSM	
	Estim.	p t	Estim.	p t	Estim.	p t
β_0	843,73	<0,001**	1032,77	<0,001**	905,17	<0,001**
β_1	-218,91	<0,001**	-276,15	<0,001**	-237,15	<0,001**
β_2	14,37	<0,001**	18,70	<0,001**	15,72	<0,001**
β_3	-246,00	0,073	-695,41	<0,001**	-334,63	0,035*
β_4	80,79	0,077	220,01	0,001**	108,36	0,039*
β_5	-6,48	0,086	-17,24	0,002**	-8,61	0,047*

* significativo a 5%;** significativo a 1%.

A Tabela 8 mostra o erro padrão, o coeficiente de determinação (R^2) e a probabilidade F para os três métodos nos Estados do RS e MT. Semelhante ao que foi observado para os ajustes nas regiões Sul e Planalto do RS (tabela 8), nestes ajustes os valores de erro padrão e R^2 forneceram evidências de uma melhor qualidade das predições da acidez potencial a partir do SMP. Embora os dados obtidos com o método TSM mostraram uma predição inferior ao método SMP, deve-se levar em conta que este não contém substâncias tóxicas e portanto pode ser usado em substituição ao método SMP com mais precisão do que o método Sikora, ainda que seja necessária uma calibração específica para os solos do MT.

Tabela 8. Erro padrão, R^2 e probabilidade F dos modelos de predição da acidez potencial para os Estados do RS e MT.

Modelo	Erro Padrão Resíduo	R^2_{Ajustado}	p F
SMP	7,55	0,884	<0,001
Sikora	10,34	0,782	<0,001
TSM	8,16	0,864	<0,001

6.2 Relação entre os valores de pH obtidos com o método SMP e os métodos Sikora e TSM nos solos do Estado do MT

A Figura 7a e 7b mostra a relação dos valores de pH obtidos com o método SMP e os métodos Sikora e TSM nas 110 amostras de solos do MT.

A Figura 7a relaciona linearmente os valores de pH obtidos com o método SMP e os valores de pH obtidos com o método TSM com duas equações: uma que passa na origem e a outra não. O coeficiente de determinação da equação que passa na origem foi igual ao da equação que não passa na origem ($R^2 = 0,97$) apresentando uma diferença apenas na terceira casa decimal.

A Figura 7b relaciona linearmente os valores de pH obtidos com o método SMP e os valores de pH obtidos com o método Sikora com duas equações: uma que passa na origem e a outra não. O coeficiente de determinação da equação que passa na origem foi de $R^2 = 0,95$ e a equação que não passa na origem foi de $R^2 = 0,97$ apresentando uma diferença já na segunda casa decimal. Indicando uma pequena diferença do método Sikora em relação ao método SMP.

Entretanto, considerando apenas os coeficientes de determinação das equações que não passam na origem ($R^2 = 0,97$) e que foram iguais para ambos os métodos (Fig. 7a e 7b), pode-se inferir que tanto o método Sikora, como o método TSM poderiam ser adotados para substituir o método SMP na estimativa da acidez potencial nos solos do MT. Estes resultados diferem dos obtidos por Kaminski et al., (2007) e Santana et al., (2011) para o método Sikora, o qual não reproduziu os valores de pH obtidos com o método SMP, respectivamente para alguns solos do RS e do cerrado Brasileiro. Cabe ressaltar que nestes trabalhos foram testadas 42 amostras de solos do Estado do RS e apenas três amostras do cerrado brasileiro.

Na equação que relaciona o método SMP com método TSM (Fig. 7a), o coeficiente angular da equação que passa na origem foi de 1,0004 e da equação que não passa na origem foi de 0,9364 e o coeficiente linear desta equação foi de 0,3869 ou seja, o coeficiente angular aproxima-se mais de 1 e o coeficiente linear é mais próximo de zero. Já na equação que relaciona o método SMP com método Sikora, o coeficiente angular da equação que passa na origem foi de 1,003 e da equação que não passa na origem foi de 0,873 e o coeficiente linear desta equação foi de 0,788. (Fig. 7b), ou seja, mais afastados de 1 e zero, respectivamente.

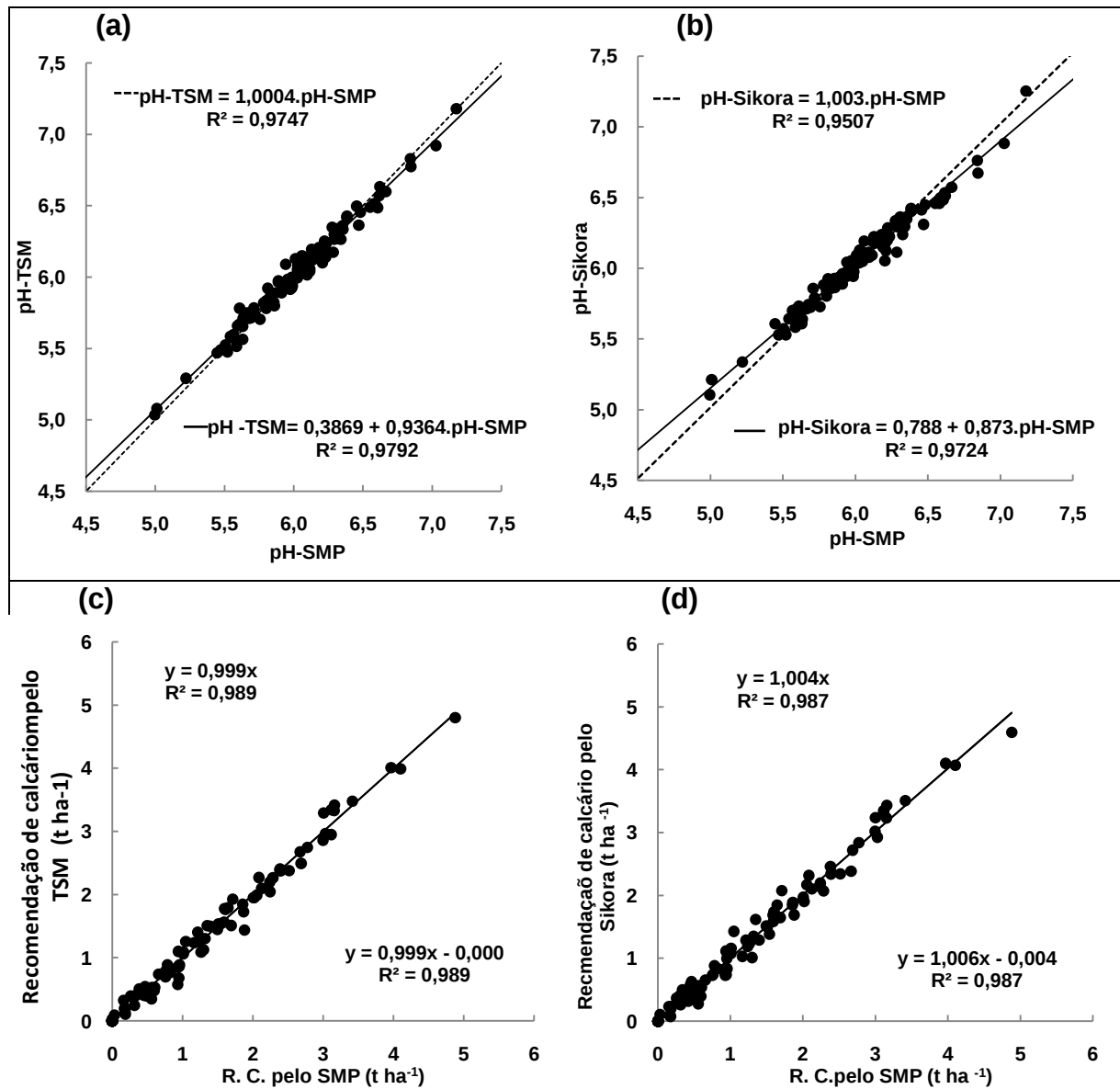


Figura 7 - Relação dos valores de pH obtidos com o método SMP e os métodos TSM (a) e Sikora (b); relação entre as recomendações de calcário(RC) calculadas para atingir saturação de bases 50%, com o método SMP e os métodos TSM(c) e Sikora (d) para as 110 amostras de solos do MT.

Com isto, o método Sikora, embora pelo coeficiente de determinação (R^2), tenha se mostrado tão eficiente quanto o método TSM, para valores de pH mais baixos e mais altos, mostrou uma tendência de subestimar e superestimar a acidez potencial em relação ao método SMP, o que implicaria em uma menor ou maior recomendação de calcário, respectivamente.

Para valores de pH inferiores a 5,5, em comparação ao SMP, as diferenças para menos na recomendação de calcário do método Sikora foram inferiores a $\pm 0,5 \text{ t ha}^{-1}$, quando calculadas usando o método Sikora para a estimativa da acidez potencial, e inferiores a $\pm 0,25 \text{ t ha}^{-1}$, quando calculadas pelo método TSM. Tais diferenças podem ser consideradas agronomicamente não significativas, pois recomendações inferiores a uma tonelada por hectare são muitas vezes de efeito imperceptível nos atributos da acidez, especialmente em solos mais tamponados (Toledo, 2011), como os solos do MT, o que permitiria o uso dos dois métodos, com uma ligeira vantagem para o método TSM.

Os resultados desse trabalho foram melhores do que os encontrados por Sikora (2006), que obteve uma diferença a mais de $2,5 \text{ t ha}^{-1}$, quando a recomendação de calcário foi feita com base no método Sikora do que com o método SMP, e Toledo (2011), que obteve, para 28,6% dos solos, uma diferença para menos 0,5 a $1,0 \text{ t ha}^{-1}$ em relação ao método SMP, quando a recomendação de calcário foi feita com base no método TSM.

As figuras 7c e 7d representam a relação entre a recomendação de calcário calculada pela elevação da saturação de bases a 50% (usada para a maioria das culturas do MT, segundo Sousa e Lobato (2004) usando a acidez potencial estimada pelo método SMP com acidez potencial estimada pelos métodos TSM e Sikora. Os coeficientes de determinação para as equações de ambos os métodos, foram iguais a ($R^2 = 0,98$), corroborando a similaridade dos métodos para estimativa da recomendação de calcário nos solos em estudo.

Os valores de H + Al foram obtidos com as equações ajustadas com as relações dos valores de pH obtidos pelos métodos SMP, Sikora e TSM e a acidez potencial (H + Al) titulável desenvolvidas neste trabalho.

Para o método SMP:

$$y = 14,53x^2 - 221,26x + 852,24 \quad (7)$$

Para o método Sikora:

$$y = 19,514x^2 - 287,32x + 1070,4 \quad (8)$$

Para o método TSM:

$$y = 16,347x^2 - 245,2x + 930,66 \quad (9)$$

6.3 Relação entre os valores de pH obtidos com os métodos SMP, Sikora e TSM nos solos do Estado do RS

A figura 8a e 8b, mostra, respectivamente, a relação dos valores de pH obtidos com o método SMP e os métodos Sikora e TSM nas 103 amostras de solos do RS.

A figura 8a relaciona linearmente os valores de pH obtidos com o método SMP e com o método TSM com duas equações: uma que passa na origem e a outra não. O coeficiente de determinação de ambas foi de $R^2 = 0,992$, apresentando uma diferença apenas na quarta casa decimal. O coeficiente angular da equação que passa na origem (0,99) também foi semelhante ao que não passa na origem (0,99), e o coeficiente linear foi próximo de zero (0,0618), indicando um bom ajuste estatístico para a relação.

A figura 8b relaciona linearmente os valores de pH obtidos com o método SMP e com o método Sikora com duas equações: uma passando na origem e a outra não. Embora os coeficientes de determinação das duas equações tenham sido semelhantes ($R^2 = 0,90$), o coeficiente angular da equação que passa na origem foi de 0,99 e da equação que não passa na origem foi de 0,92 e o coeficiente linear desta equação foi de 0,4225. Com estes resultados o método Sikora mostrou uma tendência de subestimar e superestimar a acidez potencial em relação ao método SMP, o que implicaria numa menor ou maior recomendação de calcário, respectivamente.

Comparando as diferenças nas equações de regressão em ambos os gráficos que não passam na origem, para a relação entre o método SMP e os métodos TSM (Fig. 8a) e Sikora (Fig. 8b), observa-se que o coeficiente de determinação da primeira equação foi maior e os valores dos coeficientes angular e linear, aproximaram-se mais de 1 e de zero, respectivamente. Isto evidencia que o método TSM reproduziu melhor os valores de pH SMP em comparação com o método Sikora para os solos do RS.

Os resultados obtidos estão de acordo com os obtidos por (Kaminski et al., 2007, Santana et al., 2011 e Toledo, 2011), onde o método TSM, foi o que melhor reproduziu os valores de pH obtidos com o método SMP para solos do RS. Cabe ressaltar que nestes trabalhos foram testadas 42 amostras de solos do Estado do RS.

As figuras 8c e 8d representam a relação entre as recomendações de calcário para atingir pH 6,0 obtida com base nos valores do índice SMP e as recomendações estimadas pelos métodos TSM e Sikora (Apêndice 6), usando a tabela 6.2 do Manual de Adubação e Calagem do RS/SC (CQFS/RS-SC, 2004) . O coeficiente de determinação para a regressão linear entre a recomendação de calcário a partir do

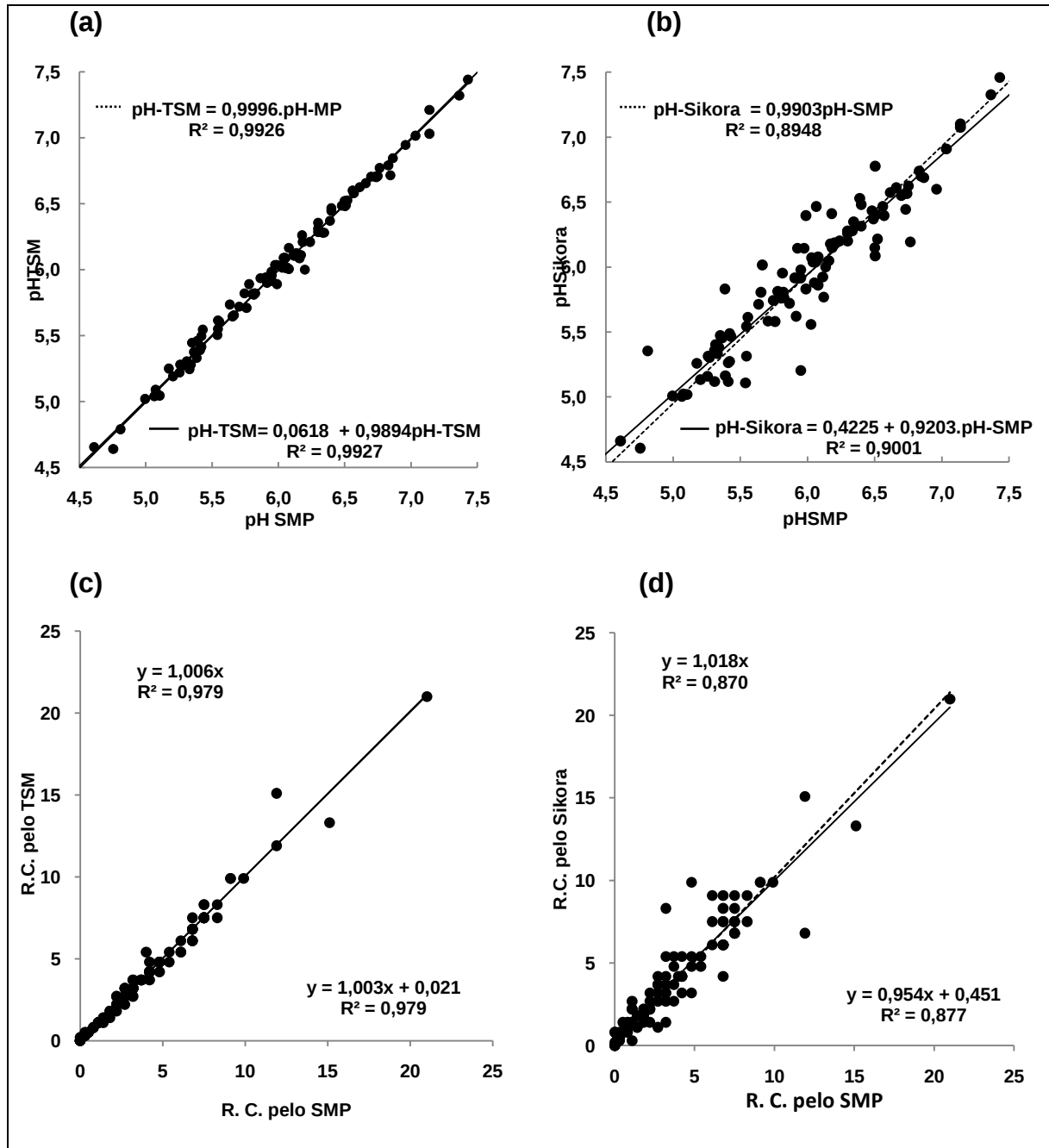


Figura 8 - Relação dos valores de pH obtidos com o método SMP e os métodos TSM (a) e Sikora (b); relação entre as recomendações de calcário (RC) para atingir pH 6,0 com o método SMP e os métodos TSM(c) e Sikora (d) para as 103 amostras de solos do RS.

método SMP e TSM ($R^2 = 0,97$) foi maior do que o coeficiente de determinação para a regressão linear entre a recomendação de calcário a partir do método SMP e Sikora ($R^2 = 0,87$), indicando que o método TSM é mais indicado para a recomendação de calcário do que o método Sikora para os solos do Estado do RS.

Para valores de pH inferiores a 5,5, as diferenças para menos na recomendação de calcário foram $\leq 2,5 \text{ t ha}^{-1}$, quando estimadas usando o método Sikora, e $\leq 1,0 \text{ t ha}^{-1}$ quando calculadas pelo método TSM. Estes resultados são iguais aos encontrados por Sikora (2006) para solos de Kentucky (USA), quando a recomendação de calcário foi feita com base no método Sikora em relação ao método SMP e iguais aos encontrados por Toledo (2011), com base no método TSM. A diferença inferior a uma tonelada por hectare, obtida entre o método SMP e o método TSM pode ser considerada agronomicamente não significativas, ou de efeito imperceptível nos atributos da acidez, especialmente em solos mais tamponados (Toledo, 2011). Estes resultados confirmam que o método TSM seria mais indicado do que o método Sikora para substituir o método SMP nos solos do RS.

6.4 Atributos físicos e químicos dos solos do Estado do Mato Grosso

A Tabela 9 mostra a análise estatística descritiva dos parâmetros físico e químicos avaliados e, na figura 9, são apresentadas as distribuições de frequências dos atributos relacionados à acidez das 110 amostras de solos.

A amplitude dos teores de argila foi de 63 a 762 g kg^{-1} . Entre o 1º e o 3º quartil estão representadas 50% das amostras de solos, com o valor da mediana de 450 g kg^{-1} (Tabela 8). A mediana é quem melhor representa a tendência central das observações, quando as mesmas não seguem uma distribuição normal. A maioria (56%) das amostras apresentaram teores de argila entre 343 a 762 g kg^{-1} (Fig. 10), o que, segundo Sousa et al., (2004) corresponde as classes texturais argilosa e muito argilosa. O restante das amostras, enquadraram-se nas classes texturais arenosa e média, o que está de acordo com as classes de solos predominantes nas 110 amostras avaliadas, Latossolos e Neossolos quartizarênicos (Apêndice 2) as quais são as classes predominantes no bioma Cerrado, segundo Lopes (1994).

Os teores de matéria orgânica dos solos variaram de 7 a 70 g kg^{-1} , entretanto observou-se que 63% apresentaram valores entre 7 e 32 g kg^{-1} , com a mediana de

29 g kg⁻¹ (fig. 9). Segundo Lopes & Cox (1977) estes níveis de matéria orgânica são considerados baixos e médios.

Em relação ao Al trocável, os teores situaram-se entre 0,25 e 27,84 mmol_c dm⁻¹. A fig 9 mostra que 87% ficaram entre 0,25 e 11,3 mmol_c dm⁻¹, correspondendo aos níveis baixos e médios, e somente 13% foram considerados altos (Lopes, 1994).

Tabela 9. Concentração mínima e máxima, média, desvio padrão, coeficiente de variação (CV%), 1º e 3º quartis, mediana, e intervalo de confiança (IC) a 5% com limite inferior (LI) e limite superior (LS) dos parâmetros: argila, carbono, pH H₂O, SMP, Sikora e TSM, (H + Al), Al, Ca, Mg, Na, K, CTC_e, CTC_{pH 7,0}, (m%) e (V%) nas 110 amostras dos solos do Estado do MT.

Parâmetros	Conc. Min.	Conc. Máx.	Média	Desvio Padrão	CV (%)	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	IC 5%	
									LI	LS
Argila ⁽¹⁾	63	762	404	217	54	187	450	592	363	445
MO ⁽¹⁾	7	70	29	12,0	41	20	29	37	27	31
pH água	3,9	6,8	5,3	0,4	8	5,0	5,4	5,6	5	5,4
pH SMP	5,0	7,2	6,0	0,4	6	5,8	6,0	6,2	6	6,1
pH Sikora	5,1	7,3	6,0	0,3	6	5,9	6,1	6,2	6	6,1
pH TSM	5,0	7,2	6,0	0,4	6	5,8	6,1	6,2	6	6,1
(H + Al) ⁽²⁾	10,8	104,8	48,4	18,6	38	35,6	45,1	62,5	44,9	51,9
Al ⁽²⁾	0,25	27,84	5	5,9	119	1,0	2,0	7,45	3,87	6,07
Ca ⁽²⁾	0,43	64,72	39	12,14	31	10,31	18,05	27,91	37,18	41,72
Mg ⁽²⁾	0,93	17,0	6,80	3,56	52	4,11	6,28	8,95	6,13	7,47
K ⁽²⁾	0,29	4,27	1,59	0,98	62	0,86	1,26	2,09	1,41	1,77
Na ⁽²⁾	0,18	1,11	0,58	0,2	34	0,43	0,59	0,71	0,54	0,62
CTCe	11	80	34	13	37	25	33	41	32	36
CTC _{pH 7,0}	33	151	77	21	27	61	78	90	73	81
(m%)	0	79	19	23	122	3	7	25	14	23
(V%)	6	75	39	17	43	25	39	50	36	42

⁽¹⁾ g kg⁻¹; ⁽²⁾ mmol_c dm⁻³.

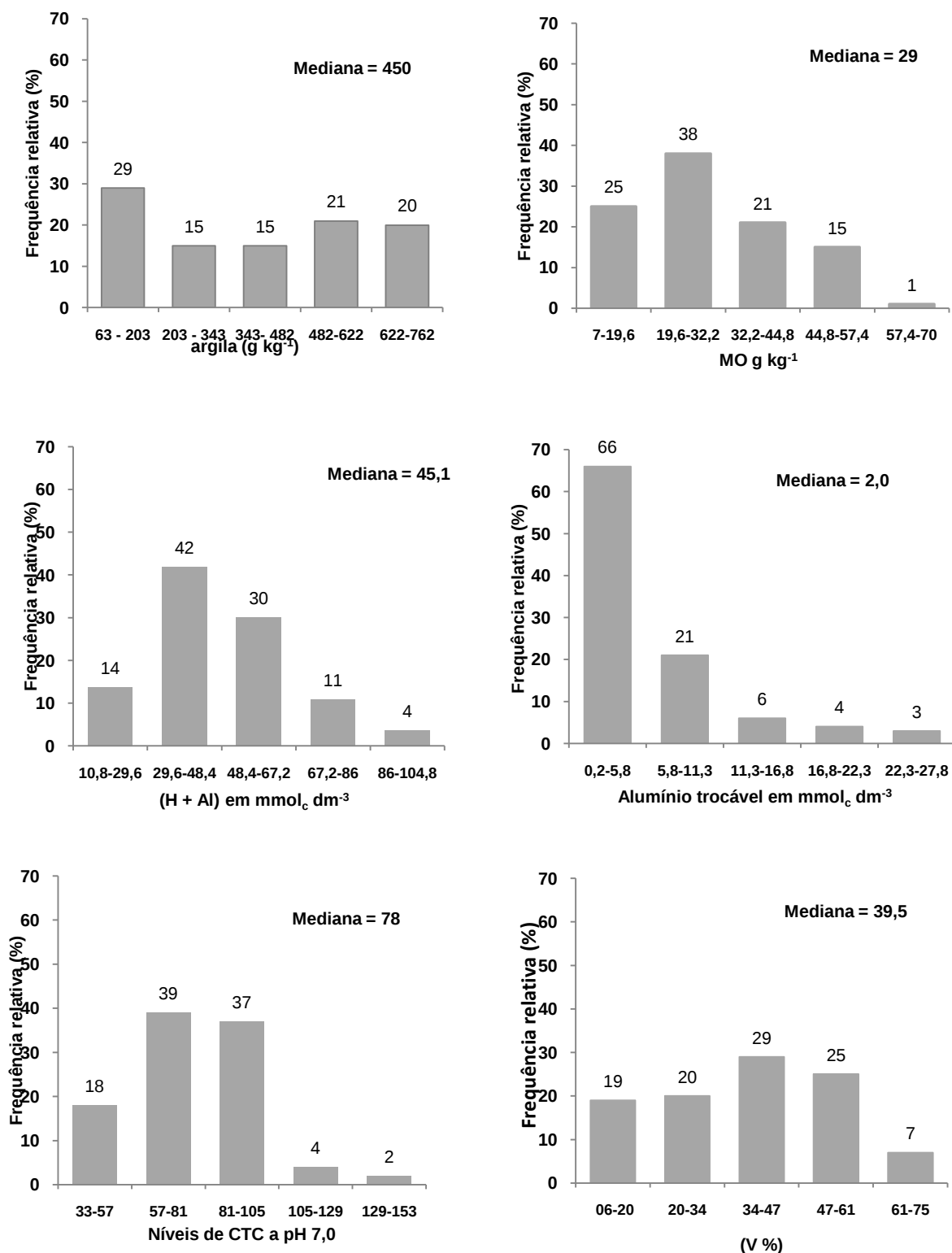


Figura 9- Distribuição de frequência dos parâmetros avaliados nas 110 amostras de solos do Estado do MT.

Os teores totais de acidez potencial (H + Al) variaram de 10,79 a 104,78 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-1}$, destes 50% ficaram entre 35,6 e 62,54 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-1}$, com o valor da mediana de 45,0 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-1}$.

Os valores de pH em água, que representam a acidez ativa do solo, variaram entre 3,9 e 6,8. Das 110 amostras analisadas, 50% ficaram entre 5,0 e 5,6, com a mediana de 5,1. Estes valores de acidez são considerados médios, segundo Sousa (2004).

A $CTC_{pH\ 7,0}$ variou de 32 a 151 $mmol_c\ dm^{-1}$, sendo que 50% das amostras ficaram entre 61 e 90 $mmol_c\ dm^{-1}$, com a mediana de 78 $mmol_c\ dm^{-1}$. Para a CTC_e , a amplitude ficou entre 11 e 80 $mmol_c\ dm^{-1}$, com o valor da mediana de 33 $mmol_c\ dm^{-1}$. Este resultado assemelha-se ao obtidos por Vendrame et al., (2008), que encontram uma CTC_e média de 38 $mmol_c\ dm^{-1}$, para Latossolos sob pastagem no bioma Cerrado.

A média da saturação por alumínio foi de 19% e a mediana 7%. Estes valores foram inferiores aos 59%, observado por Lopes & Cox (1977), e 24%, observado por Vendrame et al., 2008, indicando que as práticas de correção da acidez e o cultivo dos solos desse Estado vem contribuindo, ao longo dos anos, para elevar a saturação de bases e conseqüentemente diminuir a saturação por Al. Apenas 16% das amostras apresentaram valores acima de 40% de saturação por Al, considerado um nível alto (Lopes, 1994).

6.5 Atributos físicos e químicos dos solos do Estado do Rio Grande do Sul

A tabela 10 mostra a análise estatística descritiva dos parâmetros físico e químicos e, na figura 10, as distribuições de frequência, dos atributos relacionados à acidez das 103 amostras de solos das regiões do Planalto e Sul do RS.

A amplitude dos teores de argila foi de 66 a 819 $g\ kg^{-1}$. Entre o 1º e o 3º quartil, estão representadas 50% dos valores centrais de todas as observações das amostras de solos, com o valor da mediana de 347 $g\ kg^{-1}$ (tabela 9). Segundo o Manual de Adubação e Calagem (CQFS-RS/SC, 2004) estes valores podem ser enquadrados nas classes 3 (210 a 400 $g\ kg^{-1}$) e 2 (410 a 600 $g\ kg^{-1}$). Esses resultados não diferem dos obtidos por Rheinheimer et al., (2001) que encontram a em em 53% das amostras de solos do RS, teores de argila entre 260 e 550 $g\ kg^{-1}$.

Na Figura 3 pode se observar que as amostras de solos foram coletas em duas regiões distintas do Estado, Planalto e Sul, e no Apêndice 4 estão os tipos de solos em cada ponto de coleta, levando-se em conta as coordenadas geográficas e o Mapa exploratório de solos, (IBGE, 2007). Os solos predominantes na região do

Planalto foram os Latossolos, mais argilosos (classe 2 e 1), e, na região Sul, não houve predomínio de um tipo específico de solo, porém são solos mais arenosos (classes 3 e 4).

Os teores de matéria orgânica dos solos variaram de 10 a 89 g kg⁻¹, entretanto observou-se que 70% das amostras apresentaram valores interpretados como médios (entre 26 e 50 g kg⁻¹), com a mediana de 39 g kg⁻¹ (Figura 10 e Apêndice 5).

Em relação ao Al trocável, os teores variaram de 0,0 e 69,2 mmol_c dm⁻¹. A fig 10 mostra que em 62% das amostras ficaram entre 0,0 e 13,8 mmol_c dm⁻¹. A amplitude de variação da saturação por Al (m%) foi de 0 a 80%, com mediana de 13% (Tabela 10). Este foi o parâmetro que apresentou maior coeficiente de variação (113%) resultando em valores que variaram desde muito baixo a alto.

A acidez potencial, medida pelos teores de (H + Al) titulado, variou de 8,1 a 133,6 mmol_c dm⁻¹, destes 50% ficaram entre 34,7 e 75,1 mmol_c dm⁻¹, com o valor da mediana de 49,6 mmol_c dm⁻¹.

Os valores de pH em água variaram entre 4,1 e 7,4. Das 103 amostras analisadas, 50% ficaram entre 4,7 e 5,8, com a mediana de 5,1. Estes valores se enquadram nas classes muito baixo, baixo e médio (CQFS-RS/SC, 2004) e estão de acordo com os resultados obtidos por Rheinheimer et al. (2001).

A CTC_{pH 7,0} variou de 35 a 356 mmol_c dm⁻¹, sendo que 50% das amostras ficaram entre 100 e 163 mmol_c dm⁻¹, com a mediana de 158 mmol_c dm⁻¹. Estes resultados são considerados médios e altos (CQFS-RS/SC, 2004).

Na comparação das medianas obtidas para os parâmetros que envolvem a acidez dos solos, entre os dois Estados (Tabelas 8 e 9), observou-se que os teores de MO, H + Al, Al trocável, os cátions (Ca + Mg + K), CTC_{pH 7,0} e a saturação por bases (V%) no Estado do RS foram maiores do que no Estado do MT. Em alguns parâmetros, como o Al trocável, o valor obtido foi quase três vezes maior e dos cátions trocáveis e da CTC_{pH 7,0} os valores mais que dobraram.

Estes resultados indicam que os solos das regiões do Planalto e Sul do Estado do RS possuem maior poder de tamponamento da acidez, em comparação aos solos das regiões de Sapezal, Centro Oeste e Sul do Estado do MT. Por esta razão, o poder de tamponamento do método Sikora, que foi calibrado em amostras de solos com baixa acidez total, foi suficiente para reagir com toda a acidez dos solos

TABELA 10. Concentração mínima e máxima, média, desvio padrão, coeficiente de variação (CV%), 1º e 3º quartis, mediana, e intervalo de confiança (IC) a 5% com limite inferior (LI) e limite superior (LS) dos parâmetros: argila, carbono, pH_{H2O}, SMP, Sikora e TSM, (H + Al), Al, Ca, Mg, Na, K, CTC_e, CTC_{pH 7,0}, (m%) e (V%) nas 103 amostras dos solos do Estado do RS.

Parâmetros	Conc. Min.	Conc. Máx.	Média	Desvio Padrão	CV (%)	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	IC 5%	
									LI	LS
Argila ⁽¹⁾	66	819	372	190	51	213	347	537	335	409
MO ⁽¹⁾	10	89	38	15,0	20	26	39	47	35	41
pH água	4,1	7,4	5,3	0,7	13	4,7	5,1	5,8	5,2	5,4
pH SMP	4,4	7,4	6,0	0,6	10	5,4	6,0	6,4	5,9	6,1
pH Sikora	4,4	7,5	5,9	0,6	10	5,4	5,9	6,4	5,8	6,0
pH TSM	4,4	7,4	6,0	0,6	10	5,5	6,0	6,5	5,9	6,1
(H + Al) ⁽²⁾	8,10	133,60	54,90	27,20	50	34,70	49,60	75,10	49,65	60,15
Al ⁽²⁾	0,00	69,23	26,65	15,29	57	1,35	5,94	21,34	23,70	29,60
Ca ⁽²⁾	3,21	252,18	93,96	42,51	45	17,91	34,33	62,93	85,75	102,17
Mg ⁽²⁾	2,69	58,31	45,94	13,78	30	10,92	22,31	30,92	43,28	48,60
K ⁽²⁾	0,76	14,15	9,12	2,75	30	2,48	3,87	6,21	8,59	9,65
Na ⁽²⁾	0,25	25,02	2,41	2,44	101	0,63	0,81	1,18	1,94	2,88
CTC _e	16	317	87	51	58	55	77	110	77	97
CTC _{pH 7,0}	35	356	140	59	42	100	158	163	128	151
(m%)	0	80	18	21	113	1,0	13	28	14	22
(V%)	8	91	51	21	41	34	51	65	47	55

⁽¹⁾ g kg⁻¹; ⁽²⁾ mmolc dm⁻³.

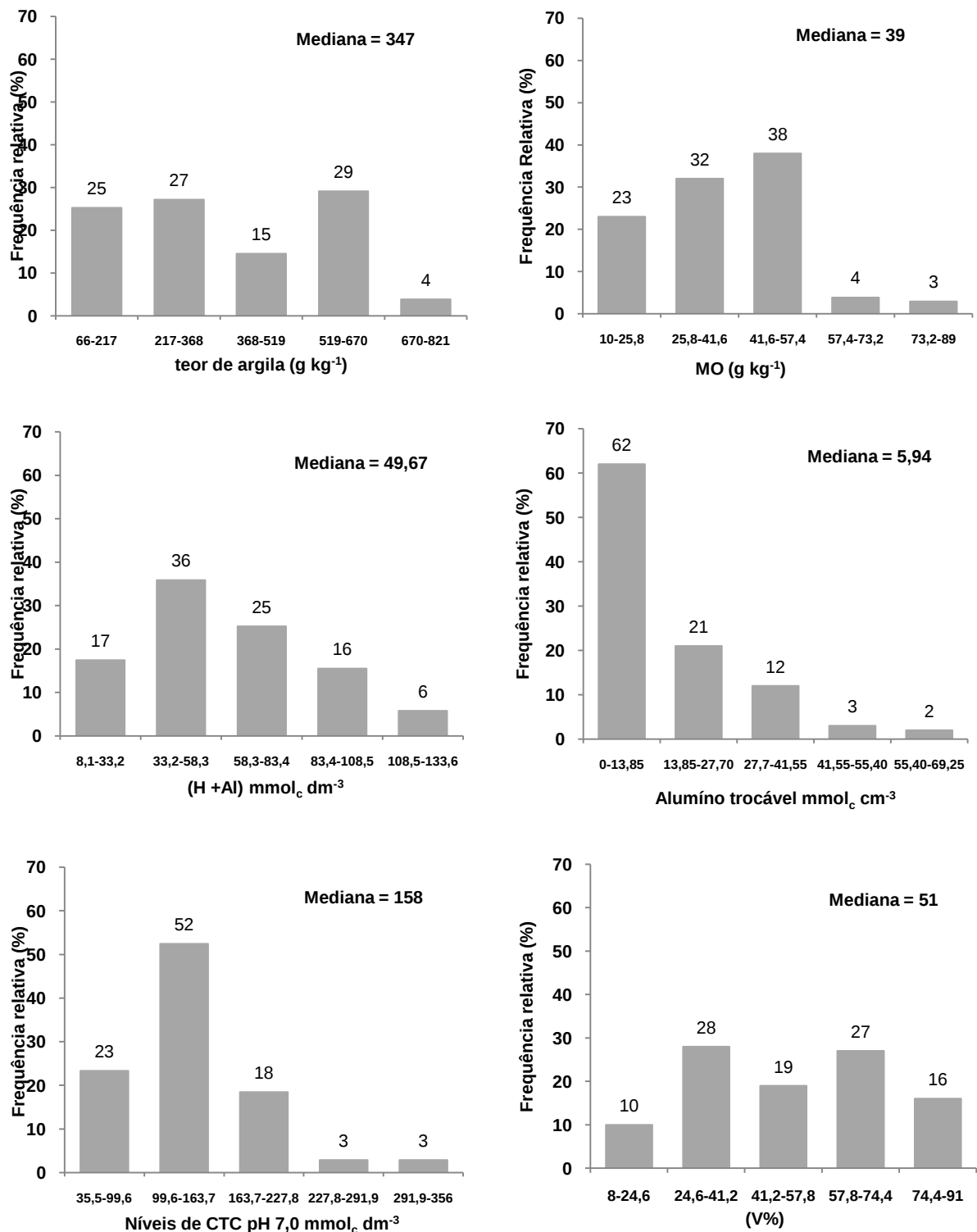


Figura 10- Distribuição de frequência dos parâmetros avaliados nas 103 amostras da Região Estado do RS.

do Estado do MT, reproduzindo bem os valores obtidos com o método SMP (Fig. 7b). Nos solos do RS, por serem mais tamponados, as concentrações das bases que compõem o método Sikora não foram suficientes para neutralizar toda a acidez do meio, resultando em valores de pH distintos dos obtidos com o método SMP (Fig. 8b) e corroborando os resultados obtidos por Kaminsck et al., (2007). Por outro lado, o método TSM, calibrado por Toledo (2011) para diminuir a sua capacidade tamponante, mostrou-se mais eficiente do que o método Sikora em reproduzir os valores de pH obtidos com o método SMP (Fig. 8a). Por isso o método TSM mostrou-se mais indicado para substituir o método SMP nos laboratórios de análise de solos deste Estado e na recomendação de calcário. (Fig. 8c).

7. CONCLUSÕES

A maior acurácia na predição da acidez potencial ($H + Al$) é observada na seguinte ordem entre os métodos avaliados: $SMP \geq TSM > Sikora$, tanto para solos das regiões Sul e Planalto do RS, como para o Estado do MT.

No RS, o método TSM mostra-se viável em estimar acidez potencial ($H + Al$) para os solos das duas regiões do RS, possibilitando a adoção de um modelo matemático único.

Apenas o método SMP apresenta universalidade na estimativa da acidez potencial ($H + Al$) para os dois Estados RS e MT.

O método Sikora e sua versão TSM reproduz os valores de pH obtidos com o método SMP para os solos do Estado do MT e portanto podem serem usados para a recomendação de calcário.

Para os solos do RS, o método TSM mostra-se mais eficiente do que o método Sikora para reproduzir os valores de pH obtidos com o método SMP, sendo o mais indicado para substituí-lo nos laboratórios de análise de solos deste Estado e na recomendação de calcário.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARNHISEL, R., and P.M. BERTSCH. 1982. Aluminum. p. 275–300. In A.L. Page et al. (ed.) **Methods of soil analysis**. Part 2. 2nd ed. America Society of Agronomy, Inc.; and Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

CAIRES, E. F.; Manejo da Acidez do Solo. In: **Boas Práticas para uso Eficiente de Fertilizantes**. Ed. IPNI, Piracicaba, 2008, p.281-338.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Manual de Produtos Químicos**. Guia Técnico. São Paulo, 2003. 29p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/produtos/g_tecnico.pdf>. Acesso em: 26 de jun. 2003.

CHAO, T. T.; HARWARD, M. E. **Nature of Acid Clays and Relationships to Ion Activities and Ion Ratios in Equilibrium Solutions**. Soil Science. Wisconsin, USA. v: 93, p. 246-253, 1962.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO-CQFSRS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio grande do Sul e de Santa Catarina**. 10,ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de ciência do Solo/Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400P.

CONAMA. Conselho Nacional do meio Ambiente (Brasil). Resolução n. 313, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre o inventário nacional de resíduos sólidos industriais. Publicada no DOU n. 226, 22/11/2002. Seção 1, p. de 85-91.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos Rio de Janeiro, RJ. **Manual de métodos de análise do solo**. Brasília, SPI, 1985. 212p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos Rio de Janeiro, RJ. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, SPI, 1999. 412p.

EMBRAPA TRIGO. Disponível em :
<http://milho.cnpt.embrapa.br:8081/rolas/s/rolas.publico.pNumAmostrasAnalisadas> >
Acesso em: jan, 2013, 16:30:30.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A. Comparação de métodos analíticos para avaliar a necessidade de calcário dos solos do estado de santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 12, p. 143-150, 1986.

ESCOSTEGUY, P.A. & BISSANI, C.A. Estimativa de H + Al pelo pH SMP em solos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 23:175-179, 1999.

FIORUCCI, A. R.; SOARES, M. H. F. B.; CAVALHEIRO, E. T. G. **O Conceito de Solução Tampão**. Química Nova. São Paulo. N. 13. 6p. 2001.

HULUKA, G. A modification to the Adams-Evans soil buffer determination solution. **Communication Soil Plant Analysis**. V. 36, p.20014, 2005.

IBGE. Disponível em:

http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm

Acesso em: jan, 2012, 16:30:30.

KAMINSKI, J.; dos SANTOS D. R.; SANTANA, M. A.; BRUNETO, G.; CASALI, C. A.; TIECHER, T.; TOLEDO, J. A. FRIES, H. Determinação da acidez potencial dos solos com a solução tampão Sikora como alternativa à solução SMP. **XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Gramado -RS, 2007.

LOPES, A.S. & COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under "cerrado" vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **41**(4): 742-7, 1977.

LOPES, A.S.; Solos sob Cerrado: Manejo da Fertilidade para a produção agropecuária. **Boletim técnico n. 5**. ANDA (Associação Nacional para a Difusão de Adubos), São Paulo, 1994. 56 p.

MAEDA, S.; KURIHRA, C.H.; HERNANI, L.C.; FABRICIO, A.C. & SILVA, W.M. **Estimativa da acidez potencial, pelo método do pH SMP, em solos do Mato Grosso do Sul**. Dourados, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. 25p. (Boletim de Pesquisa, 3).

McBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1994, 406p.

MENGEL, K., E.A. KIRTYK, H. KOSEGARTEN, and T. APPEL. 2001. **Principles of plant nutrition**, 5th ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

MEURER, Egon José. **Fundamentos de Química do Solo**. 4.ed., 2010. Editora Evangraf LTDA. Porto Alegre, 264 p.

NASCIMENTO, C. W. A. Acidez Potencial Estimativa Pelo pH SMP EM Solos do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 24, p. 679-682, 2000.

PAVAN, M. A.; OLIVEIRA, E. L. & MIYAZAWA, M. Determinação indireta da acidez extraível do solo (H+Al) por potenciometria com a solução tampão SMP. **Arq. Biol. Tecnol.**, 39:307-312, 1996.

PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G.S.; SOUZA, J.M.P.F.; PÉREZ, D.V. & DOS ANJOS, L.H.C. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:159-162, 1998.

QUAGGIO, J.A.; **Reação do solo e seu Controle**. Simpósio Avançado de química e Fertilidade do Solo. Piracicaba, p. 53-89, 1986.

QUAGGIO, J.A. **Métodos de laboratório para calagem em solo**. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C. & SILVA, N.M. Coord. Acidez e calagem no Brasil. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15., Campinas, 1983. Anais.Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p.33-48.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van & MALAVOLTA, E. **Alternative use of the SMP-buffersolution to determine lime requirement of soils**. Comm. Soil Sci. Plant Anal., V. 16: p.245- 260, 1985.

RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; ROBAINA, A.D., ANGHINONI, I.; FLORES, J.P.C.; HORN,D. Situação da Fertilidade dos Solos no Estado do Rio Grande do Sul. **Boletim técnico** n. 2. 41 p. Santa Maria. 41p.

SANTANA, M.A.; KAMINSKI,J.; RHEINHEIMER, D.S.; TOLEDO, J.A.; CASALI, C.A. Evaluation of Sikora Instead of SMP Buffer to Estimate the Potential Acidity of Brazilian Soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 35:1707-1712,2011.

SCHOEMAKER, H. E.; McLEAN, E.O.; PRATT, P.F. Bufffer methods for determining lime requeriment of soils with appreciable amounts of extractable aluminium. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, V. 25, p.274-277, 1961.

SCHULZE, D. G. **Minerals in Soil Environments**: An Introduction to soil Mineralogy. Published by: Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. 1989.

SIKORA, F. J. A buffer that mimics the SMP buffer for determining lime requirement of soil. **Soil Science Society America Journal**, V. 70. P.474-486, 2006.

SILVA, C.A.; AVELLAR, M.L. & BERNANDI, A.C.C. Estimativa da acidez potencial pelo pH SMP em solos do semi-árido do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, V.24, p.689-692, 2000.

SILVA, E. B.; COSTA, H. O. O.; FARNEZI, M. M. Acidez Potencial Estiamda pelo Método do pH SMP em Solos da região do vale do Jequinhonha Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, V. 30: p, 751-757, 2006.

SILVA, V.; Variáveis da acidez em Função da Mineralogia dos Solos **Dissertação**. Curitiba, 73 p. 2006.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; LOBATO, E. & KLIEMAN, H. J. Avaliação de métodos para determinar de calcário em solos do cerrado de Goiás e do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 4:144-148, 1980.

SOUSA, D. M. G.;LOBATO,E.; **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. 416p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, Plantas e outros Materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (boletim Técnico 5).

TISDALE, S. L; NELSON. W. L; BEATON, J. D. **Soil Fertility and Fertilizers. Basic Soil – Plant Relationships**. Fourth Edition. Macmillan Publishing Company. New York, USA. 1985.

TOLEDO, J. A. **Solução Tampão que mimetiza as Características Ácido-base do Tampão em Resposta à Acidez de Solos Brasileiros**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2011.

TOLEDO, J. A.; KAMINSKI J.; SANTANNA, M.A.; dos SANTOS D. R. ; CELLA C.; GONATO, R. **O Tampão Santa Maria (TSM) como alternativa ao tampão SMP na estimativa da necessidade de calcário do solo**. Informe técnico Centro de Ciências Rurais. ISSN: 1984-6126 (Nº 28/2010).

VAN RAIJ, B.; **Acidez e calagem**. Corretivos da acidez do Solo. Anais do 2º Seminário UFSM-RS, p. 74-100, 1989.

VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H. & ZULLO, M.A.T. **O método tampão SMP para determinação da necessidade de calagem de solos do Estado de São Paulo**. Bragantia, 38:57-69, 1979.

VAN RAIJ, B.; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas, Instituto Agrônômico, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81)

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres/Potafos, 1991. 3p.

VENDRAME, P.R.S.; BRITO, O.R.; GUIMARÃES, M.F.; MARTINS, E.S.; BECQUER, T.; Fertilidade e acidez de Latossolos sob pastagem no bioma Cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 2., 2008, Brasília, DF. Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais: **Anais...** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 1 CD-ROM

WINDHOLZ, M., BUDAVARI, S.,STROUMTSOS, L.Y. FERTIG, M.N.; The Merck index. An **Encyclopedia of chemicals and drugs**, 9 ed. Merck & Co., Rahway, NJ.

WOLF, A. M.; BEEGLE, D. B.; HSOKINS, B. Comparison of Shoemaker-Mclean-Pratt and modified Mehlich buffer tests for lime requirement on Pennsylvania soils. **Communications in Soil Science and plant Analysis**. New York, V. 39, n. 11-12, p,1848-1857. jun.2008.

WOODRUFF, C. M. Testing soils for lime requirement by means of a buffered solution and the glass electrode. **Soil Science**, Baltimore, V. 66, n.1, p. 53-63, july.1948.

Resolução n. 330 de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e

estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Publicada no DOU n. 249, de 30/12/2009, p. 81-84.

APÊNDICE

Apêndice 1. Número de amostras coletadas por município, identificação numérica, município das 110 amostras de solo do Estado do MT, em áreas cultivadas e não cultivadas.

Numero de Amostras	Identificação numérica	Município⁽¹⁾
20	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15, 16,17,18,19 e 20	Sapezal
04	26, 38, 41 e 50	Feliz Natal
03	27, 33, e 58	Ipiranga do Norte
03	34, 35, e 51	Lucas do Rio Verde
07	28, 32, 39, 42, 43, 46 e 47	Nova Mutum
04	24, 25, 44 e 45	Nova Ubiratã
06	30, 36, 37, 56, 59 e 60	Sinop
11	21, 22, 23, 29, 31, 40, 48, 49, 52, 54 e 55	Sorriso
02	53 e 57	Vera
09	68, 69, 70, 71, 72, 73, 74 75 e 76	Campo Verde
14	87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96,97, 98, 109 e 110	Itiquira
04	64, 65, 66 e 67	Jaciara
03	61, 62 e 63	Juscimeira
07	100, 101, 102, 103, 104, 105 e 106	Pedra Preta
01	86	Poxoréo
09	77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84 e 85	Primavera do Leste
01	99	Dom Aquino
02	107 e 108	Rondonópolis

⁽¹⁾ Mapa Político do Estado MT. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão-IBGE, 2001.

Apêndice 2. Identificação numérica, descrição e tipo de solo predominantes na região de coleta das 110 amostras de solo do Estado do MT, em áreas cultivadas e não cultivadas.

Identificação numérica	Descrição	Tipo de Solo ⁽¹⁾
Região do Município de Sapezal		
1	São José	
2	Mazuti	
5	A 1 Vó Arnaldo	
6	Santa Luiza	
7	A 3 Bom Futuro Cerrado	
8	Fazenda Mazza Lolli	
9	Comil	
10	Boca da Mata	Latossolo Vermelho distrófico típico
11	Bigolim	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico
12	Agrosan	Neossolo Quartzarênico órtico típico
13	Fogliatelli Cerrado	
14	Água Quente Cerrado	
15	A 2 Vó Arno	
16	A 2 Tucunaré Cerrado	
17	A 1 Stern Cerrado	
18	Tucunaré	
19	A 5 Sperafico Cerrado	
20	A 4 CNP	

⁽¹⁾ Mapa Exploratório de Solos. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão-IBGE, 2009.

Apêndice 2 continuação....

Identificação numérica	Descrição	Tipo de Solo ⁽¹⁾
Região Médio Norte		
26	10 AAG	
38	06 PAR	Latossolo Vermelho distrófico típico
41	09 AM	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico e plintico
50	08 NM	
27	11 AG	
33	09 NAG	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico
58	07 PM	Latossolo Vermelho distrófico típico
34	15 AAG	
35	13NAG	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico
51	12 NM	Latossolo Vermelho distrófico típico
28	13 AAG	
32	14 AAG	
39	08 PAR	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico
42	09 PAR	Latossolo Vermelho distrófico típico
43	12 AM	Neossolo Quartzarênico órtico típico
46	10 NAR	
47	11 NAR	
24	07 AAG água limpa	
25	08 AAG	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico
44	06 NAR água limpa	Latossolo Vermelho distrófico típico
45	07 NAR	Neossolo Quartzarênico órtico típico
30	05 NAG	
37	03 PAR	
56	05 AAR	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico
59	02 PLV (pasto/lavoura)	Latossolo Vermelho distrófico típico
60	A 04 NAA nativo arenoso	

⁽¹⁾ Mapa Exploratório de Solos. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão-IBGE, 2009.

Apêndice 2 continuação.....

Identificação numérica	Descrição	Tipo de Solo⁽¹⁾
Região Médio Norte		
21	03 AG	
22	04 sinop	
23	06 AAG sinop	
29	03 AAG	
31	01 AM	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico
40	02 AM	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico petroplintico
48	01 NM	Latossolo Vermelho distrófico típico
49	02 NM	
52	01 PA	
54	10 PAG-LP	
55	11 P	
53	04 PAG	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico
57	05 PM	Neossolo Quartizarênico órtico típico
Região sul		
68	08 santo expedito	
69	09 pasto	
70	10 campo verde	
71	11 marasá	Latossolo Vermelho distrófico típico
72	12 santa silvia	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico
73	13 santa silvia	Neossolo Quartizarênico órtico típico
74	14 são manael	
75	15 campo verde	
76	16 campo verde	

⁽¹⁾ Mapa Exploratório de Solos. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão-IBGE, 2009.

Apêndice 2 continuação.....

Identificação numérica	Descrição	Tipo de Solo ⁽¹⁾
Região Sul		
87	27 santa terezinha	
88	28 pasto	Latossolo Vermelho distrófico típico
89	29 cultivado	Neossolo Quartizarênico órtico típico
90	30 porto seguro	Plintossolo Argilúvico distrófico típico
91	31 benjamim	Neossolo Litólico distrófico típico
92	32 smi	Planossolo háplico distrófico típico
93	33 pasto	Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico e pretroplântico
94	34 cultivado	Neossolo litólico eutrófico típico
95	35 pasto	
96	36 pasto	
97	37 cultivado	
98	38 ana paula	
109	49 cerrado	
110	50 santa maria pasto	
64	04 entre rios	Latossolo Vermelho distrófico típico
65	05 pasto	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico
66	06 vertente	Argissolo Vermelho Amarelo distrófico
67	07 cerrado	Neossolo Quartizarênico órtico típico
61	01 pastagem	Latossolo Vermelho distrófico típico
62	02 cerrado	Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico
63	03 santa julia	Argissolo Vermelho eutrófico
		Neossolo Quartizarênico órtico típico
100	40 serra polato	
101	41 arizona	Latossolo Vermelho distrófico
102	42 adriana cultivado	Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico
103	43 adriana	Neossolo Litólico distrófico
104	44 bom jesus	Neossolo Litólico eutrófico
105	45 serra cultivado	
106	46 pasto	
86	26 pasto	Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico
		Neossolo Quartizarênico órtico típico
		Latossolo Vermelho distrófico típico

⁽¹⁾ Mapa Exploratório de Solos. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão-IBGE, 2009.

Apêndice 2 continuação.....

Identificação numérica	Descrição	Tipo de Solo⁽¹⁾
Região Sul		
77	17	
78	18	
79	19 novo rancho	
80	20	Latossolo Vermelho distrófico típico
81	21 manoel	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico
82	22	Neossolo Quartizarênico órtico típico
83	23	
84	24 onça pintada	
85	25	
99	39 cerrado	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico Neossolo Quartizarênico órtico típico
107	47 guarita	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico Neossolo Quartizarênico órtico típico
108	48 mônica	Latossolo Vermelho distrófico típico Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico

⁽¹⁾ Mapa Exploratório de Solos. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão-IBGE, 2009.

Apêndice 3. Número de amostras coletadas por município, Identificação numérica e município das 103 amostras de solo do Estado do RS, em áreas cultivadas e não cultivadas.

Numero de Amostras	Identificação numérica	Município⁽¹⁾
Região Sul		
05	37, 38, 46, 47 e 48	Bagé
03	53, 54 e 55	Barra do Ribeiro
03	50, 51 e 52	Butiá
01	65	Caçapava do Sul
08	15, 16, 17, 18, 19, 21, 62 e 63	Canguçu
05	25, 26, 27, 28 e 29	Capão do Leão
04	56, 57, 58 e 59	Encruzilhada do Sul
04	11, 12, 13 e 14	Morro redondo
05	10, 20, 22, 23 e 24	Pelotas
04	1, 2, 5 e 6	Rio Grande
01	64	Santana da Boa Vista
02	7 e 8	Santa Vitória do Palmar
01	66	São sepé
Região do Planalto		
04	90, 91, 92 e 93	Carazinho
04	71, 72, 73 e 74	Cruz Alta
01	60	Dois Irmãos
04	75, 76, 77, 78, 79 e 80	Ijuí
01	67	Itaara
03	68, 69 e 70	Julio de Castilhos
03	106, 107 e 108	Lagoa Vermelha
01	109	Muitos Capões
07	81, 82, 83, 84, 85, 86 e 87	Panambi
13	61, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104 e 105	Passo Fundo
02	88 e 89	Saldanha Marinho
01	49	Salto do Jacuí
10	110, 111, 112, 113 , 114, 115, 116, 117, 118 e 119	Vacaria

⁽¹⁾ Mapa Político do Estado RS. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão-IBGE, 2007.

Apêndice 4. Identificação numérica, coordenada geográfica, descrição e tipo de solo das 103 amostras de solo do Estado do RS, em áreas cultivadas e não cultivadas.

Identificação numérica	Coordenada geográfica	Descrição	Tipo de Solo ⁽¹⁾
1	31°59'22"S 52°19'05"O	BR 392 km 45, campo nativo, via secundária a direita da estrada.	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico arênico
2	31°55'04"S 52°18'55"O	BR 392 km 37, barranco de estrada.	Planossolo Háptico Eutrófico Solódico
5	32°02'18"S 52°17'05"O	Propriedade do Sr. Ernande Santos Lemos. Cultivo de feijão, mandioca e alho.	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico arênico
6	32°09'19"S 52°23'50"O	BR 471 km 487, lavoura de arroz a direita da estrada.	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico arênico
7	32°36'30"S 52°34'24"O	BR 471 km 546, reserva do taim, beira de estrada.	Gleissolo Háptico Tb Eutrófico típico
8	32°31'46"S 52°32'40"O	BR 471 km 536, lavoura de milho, próximo a elevação na pista.	Chernossolo Argilúvico
9	31°41'17"S 52°26'08"O	BR 392 km 78, Propriedade do Sr. Alfoncino Schiavon. Chácara de pessegueiro.	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico úmbrico
10	31°41'20"S 52°26'08"O	BR 392 km 93, próximo a entrada do Município de Morro Redondo, mata nativa.	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico úmbrico
11	31°32'07"S 52°34'10"O	BR 392 km 96, plantação de eucalipto na beira da estrada.	Neossolo Regolítico Distro-úmbrico típico ou léptico
12	31°31'59"S 52°34'02"O	BR 392 km 102, plantação de acácia na beira da estrada.	Neossolo Regolítico Distro-úmbrico típico ou léptico
13	31°31'04"S 52°35'48"O	BR 392 km 115, entrada da colônia Maciel à esquerda.	Neossolo Regolítico Distro-úmbrico típico ou léptico
14	31°31'04"S 52°35'48"O	BR 392 km 115, entrada da Colônia Maciel à direita.	Neossolo Regolítico Distro-úmbrico típico ou léptico
15	31°30'33"S 52°35'30"O	BR 392 km 120, formação rochosa.	Neossolo Regolítico Distro-úmbrico típico ou léptico
16	31°20'28"S 52°44'33"O	BR 392 km 115, entrada da colônia Maciel à esquerda.	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico úmbrico
17	31°20'40"S 52°44'21"O	BR 392 km 113, plantação de fumo a beira da estrada.	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico úmbrico
18	31°20'40"S 52°44'22"O	BR 392 km 110, plantação de milho a direita da estrada.	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico úmbrico
19	31°21'44"S 52°42'40"O	BR 392 km km 109, barranco à esquerda da estrada, vegetação nativa.	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico úmbrico

⁽¹⁾ Mapa Exploratório de Solos. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão-IBGE, 2007.

Apêndice 4. continuação...

Identificação numérica	Coordenada geográfica	Descrição	Tipo de Solo⁽¹⁾
20	31°21'44"S 52°43'41"O	BR 392 km 107, plantação de milho no canto da estrada.	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico úmbrico
21	31°29'37"S 52°36'54"O	BR 471 km 106, plantação de soja, área mal drenada, plantio direto com pequena várzea.	Neossolo Regolítico Distro-úmbrico típico ou léptico
22	31°38'38"S 52°36'39"O	BR 471 km 104, à direita da estrada, plantação de eucalipto e vassoura vermelha.	Neossolo Regolítico Distro-úmbrico típico ou léptico
23	31°38'34"S 52°34'20"O	BR 471 km 142, à direita da estrada, plantio de soja, solo compactado, plantio direto.	Neossolo Regolítico Distro-úmbrico típico ou léptico
24	31°41'18"S 52°26'16"O	BR 471 km 163, à esquerda da estrada, plantação de soja, propriedade do Sr. Alfoncino Schiavon.	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico úmbrico
25	31°44'48"S 52°29'33"O	BR 293, barranco na beira da estrada, solo sem cultivo.	Planossolo Háptico Eutrófico Solódico
26	31°43'43"S 52°36'12"O	BR 293, barranco na beira da estrada, solo em pousio.	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico
27	31°43'58"S 52°33'44"O	BR 293, barranco na beira da estrada, solo sem cultivo.	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico
28	31°48'11"S 52°30'09"O	BR 293, Estação Experimental da Palma, experimento com cinza de casca de arroz, bloco 4.	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico
29	31°48'81"S 52°30'09"O	BR 293, Estação Experimental da Palma, experimento com cinza de casca de arroz, bloco 1.	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico
37	31°21'28"S 54°15'59"O	Perfil 22 tese do Professor Fioravante Jaekel dos Santos.	Neossolo Regolítico Eutrófico léptico
38	31°17'10"S 54°11'57"O	Perfil 45 tese do Professor Fioravante Jaekel dos Santos.	Argissolo Amarelo Distrófico úmbrico
46	31°15'15"S 54°08'37"O	Perfil 63 tese do Professor Fioravante Jaekel dos Santos.	Luvisolo Háptico Pálico típico
47	31°14'48"S 54°11'28"O	Perfil 68 tese do Professor Fioravante Jaekel dos Santos.	Neossolo Litólico Distrófico típico
48	31°15'14"S 54°07'12"O	Perfil 239 tese do Professor Fioravante Jaekel dos Santos.	Neossolo Regolítico Eutro-úmbrico léptico
49	29°00'04"S 53°14'14"O	BR 481, Salto do jacuí, área da empresa GRANDESPE, mata nativa.	Latossolo Vermelho Distrófico húmico
50	30°17'27"S 51°18'03"O	Amostra da dissertação aluna Graciele Sarante Santana, Plantio de eucalipto cultivado a 7 anos.	Argissolo Vermelho Amarelo

⁽¹⁾ Mapa Exploratório de Solos. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão-IBGE, 2007.

Apêndice 4. continuação...

Identificação numérica	Coordenada geográfica	Descrição	Tipo de Solo⁽¹⁾
51	30°17'27"S 51°18'03"O	Amostra da dissertação aluna Graciele Sarante Santana, Campo nativo.	Argissolo Vermelho Amarelo
52	30°20'52"S 52°04'47"O	Amostra da dissertação aluna Graciele Sarante Santana, Plantio de eucalipto cultivado a 21 anos.	Cambissolo
53	30°20'52"S 52°04'47"O	Amostra da dissertação aluna Graciele Santana, Campo nativo.	Cambissolo
54	30°26'22"S 52°09'77"O	Amostra da dissertação aluna Graciele Sarante Santana, Plantio de eucalipto cultivado a 21 anos.	Neossolo
55	30°20'52"S 52°04'47"O	Amostra da dissertação aluna Graciele Sarante Santana, Campo nativo.	Neossolo
56	30°32'38"S 52°31'19"O	Amostra da dissertação aluna Graciele Sarante Santana, Plantio de acácia cultivado a 7 anos.	Cambissolo
57	30°32'38"S 52°31'19"O	Amostra da dissertação aluna Graciele Santana, Campo nativo.	Cambissolo
58	30°20'52"S 51°18'03"O	Amostra da dissertação aluna Graciele Sarante Santana. Plantio de eucalipto cultivado a 7 anos.	Cambissolo
59	30°20'52"S 51°18'03"O	Amostra da dissertação aluna Graciele Sarante Santana. Campo nativo.	Cambissolo
60	29°35'55"S 51°06'08"O	BR 116 km 229, cultivo de hortaliça a beira da estrada, restaurante colonial.	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico abrupto
61	29°00'03"S 53°14'11"O	BR 481, Salto do jacuí, área da empresa GRANDESPE, mata nativa.	Latossolo Vermelho Distrófico húmico
62	31°08'04"S 52°53'18"O	BR 392 km 156, estrada secundária à direita, vegetação nativa.	Neossolo Regolítico Distro-úmbrico típico ou léptico
63	30°36'59"S 53°03'21"O	Br 392 km 180, campo nativo, à esquerda da estrada.	Neossolo Regolítico Húmico típico ou léptico
64	30°42'04"S 53°14'22"O	BR 392 km 220, campo nativo, à esquerda da estrada.	Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico
65	30°32'14"S 53°26'02"O	BR 392 km 251, mata nativa, entre as mineradoras de calcário.	Neossolo Regolítico Distro-úmbrico típico ou léptico
66	30°03'58"S 53°39'15"O	BR 392 km 306, mata nativa, plantio de milho, à esquerda da estrada.	Planossolo Háplico Eutrófico Solódico

⁽¹⁾ Mapa Exploratório de Solos. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão-IBGE, 2007.

Apêndice 4. continuação...

Identificação numérica	Coordenada geográfica	Descrição	Tipo de Solo⁽¹⁾
67	29°32'32"S 53°45'00"O	BR 158 km 251, à beira da lavoura, início do planalto.	Argissolo Vermelho Amarelo Alumínico úmbrico
68	29°19'50"S 53°40'32"O	BR 158 km 275, solo compactado, plantação de trigo.	Argissolo Vermelho Amarelo Alumínico úmbrico
69	29°19'42"S 53°40'22"O	BR 158, à esquerda da estrada, solo compactado, plantação de aveia.	Latossolo Vermelho Distrófico húmico
70	29°19'49"S 53°40'31"O	BR 158 , à direita da estrada, campo nativo.	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico
71	28°54'30"S 53°38'02"O	BR 158 , à direita da estrada, campo nativo.	Latossolo Vermelho Alumino férrico húmico
72	28°42'59"S 53°35'57"O	BR 158 , à esquerda da estrada, recém lavrado.	Latossolo Vermelho Distrófico típico
73	28°36'02"S 53°39'45"O	RS 342 , à direita da estrada, à beira da lavoura, cultivo de trigo.	Latossolo Vermelho Distroférrico típico
74	28°33'37"S 53°44'05"O	RS 342 km 143, à esquerda da estrada, mata nativa.	Latossolo Vermelho Distroférrico típico
75	31°08'04"S 52°53'17"O	BR 285, à direita da estrada, plantação de aveia.	Neossolo Regolítico Eutrófico léptico ou típico
76	31°08'04"S 52°53'17"O	BR 285, à direita da estrada, plantação de aveia.	Neossolo Regolítico Eutrófico léptico ou típico
77	28°22'19"S 53°49'46"O	BR 285, à direita da estrada, plantação de aveia.	Latossolo Vermelho Distroférrico típico
78	28°22'19"S 53°49'46"O	BR 285, à direita da estrada, mata nativa.	Latossolo Vermelho Distroférrico típico
79	28°21'23"S 53°43'58"O	BR 392 km 306, mata nativa, plantio de milho, à esquerda da estrada.	Neossolo Regolítico Eutrófico léptico ou típico
80	28°21'23"S 53°43'58"O	BR 392 km 306, mata nativa, à esquerda da estrada.	Neossolo Regolítico Eutrófico léptico ou típico
81	28°19'36"S 53°35'28"O	BR 285, à direita da estrada, plantação de aveia.	Neossolo Regolítico Eutrófico léptico ou típico
82	28°19'36"S 53°35'28"O	BR 285, à direita da estrada, beira da lavoura, plantação de aveia.	Neossolo Regolítico Eutrófico léptico ou típico
83	28°21'45"S 53°26'11"O	BR 285, à direita da estrada, plantação de aveia.	Latossolo Vermelho Distroférrico típico
84	28°21'44"S 53°26'11"O	BR 285, à direita da estrada, depósito de calcário.	Latossolo Vermelho Distroférrico típico

⁽¹⁾ Mapa Exploratório de Solos. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão-IBGE, 2007.

Apêndice 4. continuação...

Identificação numérica	Coordenada geográfica	Descrição	Tipo de Solo⁽¹⁾
85	28°21'44"S 53°26'11"O	BR 285, à direita da estrada, beira da lavoura, depósito de calcário.	Latossolo Vermelho Distroférrico típico
86	28°23'57"S 53°39'45"O	BR 285, à direita da estrada, beira da lavoura, cultivo de aveia. Plantio direto.	Latossolo Vermelho Distrófico húmico
87	28°23'57"S 53°39'45"O	à direita da estrada, à beira da lavoura, cultivo de aveia. Plantio direto.	Latossolo Vermelho Distrófico húmico
88	28°24'12"S 53°04'49"O	BR 285, à direita da estrada, plantação de aveia.	Latossolo Vermelho Alumino férrico húmico
89	28°24'12"S 53°04'49"O	BR 285, à direita da estrada, barranco.	Latossolo Vermelho Alumino férrico húmico
90	28°20'59"S 52°56'27"O	BR 285, à direita da estrada, plantação de aveia. Plantio direto.	Latossolo Vermelho Distrófico húmico
91	28°20'59"S 52°56'27"O	BR 285, fora da lavoura, plantação de aveia. Plantio direto.	Latossolo Vermelho Distrófico húmico
92	28°18'47"S 52°44'38"O	BR 285 km 333, plantio de aveia, à esquerda da estrada.	Latossolo Vermelho Distrófico húmico
93	28°18'47"S 52°44'38"O	BR 285 km 333, plantio de aveia, à esquerda da estrada.	Latossolo Vermelho Distrófico húmico
94	28°14'35"S 52°34'01"O	BR 285, plantio de aveia-azevém, à esquerda da estrada.	Latossolo Vermelho Distrófico húmico
95	28°14'35"S 52°34'01"O	BR 285, plantio de aveia-azevém, à esquerda da estrada.	Latossolo Vermelho Distrófico húmico
96	28°14'53"S 52°16'29"O	BR 285, plantio de aveia, à esquerda da estrada.	Latossolo Vermelho Distrófico húmico
97	28°14'53"S 52°16'29"O	BR 285, plantio de aveia, à esquerda da estrada. Município de Passo Fundo.	Latossolo Vermelho Distrófico húmico
98	28°17'06"S 52°10'25"O	BR 285, plantio de aveia, plantio direto recém emergida.	Nitossolo Vermelho Distroférrico típico ou latossólico
99	28°17'06"S 52°10'25"O	BR 285, plantio de aveia, plantio direto recém emergida.	Nitossolo Vermelho Distroférrico típico ou latossólico
100	28°18'22"S 52°04'56"O	BR 285, plantio de aveia, plantio direto recém emergida.	Nitossolo Vermelho Distroférrico típico ou latossólico
101	28°18'22"S 52°04'56"O	BR 285, plantio de aveia, plantio direto recém emergida.	Nitossolo Vermelho Distroférrico típico ou latossólico
102	28°15'59"S 51°55'09"O	BR 285, plantio de aveia.	Nitossolo Vermelho Distroférrico típico ou latossólico

⁽¹⁾ Mapa Exploratório de Solos. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão-IBGE, 2007.

Apêndice 4. continuação...

Identificação numérica	Coordenada geográfica	Descrição	Tipo de Solo⁽¹⁾
103	28°15'59"S 51°55'09"O	BR 285, plantio de aveia.	Nitossolo Vermelho Distroférrico típico ou latossólico
104	28°14'42"S 51°48'10"O	BR 285, Resteva de milho, recém lavrado.	Nitossolo Vermelho Distroférrico típico ou latossólico
105	28°14'42"S 51°48'10"O	BR 285, barranco ao Aldo da lavoura, com capim barba de bode.	Nitossolo Vermelho Distroférrico típico ou latossólico
106	28°12'46"S 51°33'29"O	BR 285 203, afloramento de rocha, mata nativa.	Latossolo Vermelho Distroférrico húmico
107	28°17'37"S 51°25'59"O	BR 285 km 333, baixada à direita da estrada.	Latossolo Vermelho Alumino férrico húmico
108	28°17'37"S 51°25'59"O	BR 285 km 333, baixada à esquerda da estrada, lavoura com aveia.	Latossolo Vermelho Alumino férrico húmico
109	28°19'22"S 51°20'18"O	BR 285, plantio de aveia-milho.	Latossolo Vermelho Distroférrico húmico
110	28°19'46"S 51°16'42"O	BR 285, plantio de aveia-milho com algum afloramento de rocha, à esquerda da estrada.	Latossolo Vermelho Distroférrico húmico
111	28°19'46"S 51°16'42"O	BR 285, campo nativo, com afloramento de rocha, à direita da estrada.	Latossolo Vermelho Distroférrico húmico
112	28°20'39"S 51°02'49"O	BR 285, à esquerda da estrada, plantio de macieiras.	Latossolo Vermelho Distroférrico húmico
113	28°20'39"S 51°02'49"O	BR 285, à direita da estrada, plantio de aveia sobre milho.	Latossolo Vermelho Distroférrico húmico
114	28°20'39"S 51°02'49"O	BR 285, barranco fora da lavoura. Campo nativo.	Latossolo Vermelho Distroférrico húmico
115	28°21'23"S 51°06'29"O	BR 285, à direita da estrada, campo nativo com muitos pinheiros.	Latossolo Vermelho Distroférrico húmico
116	28°21'23"S 51°06'29"O	BR 285, à esquerda da estrada, aveia sobre milho.	Latossolo Vermelho Distroférrico húmico
117	28°25'11"S 51°02'10"O	BR 285, à direita da estrada, aveia sobre milho.	Latossolo Bruno Aluminoférrico típico
118	28°25'11"S 51°02'06"O	BR 285, à direita da estrada, aveia sobre milho.	Latossolo Bruno Aluminoférrico típico
119	28°25'11"S 51°02'06"O	BR 285, à direita da estrada, barranco, campo nativo.	Latossolo Bruno Aluminoférrico típico

⁽¹⁾ Mapa Exploratório de Solos. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão-IBGE, 2007.

APÊNDICE 5 - Atributos físico-químicos e recomendação de calagem (R.C.) nas 110 amostras de solos coletadas na camada de 0-20 cm do Estado do MT.

Estados do Maranhão																			
Número	Argila ⁽¹⁾	MO ⁽¹⁾	pH	pH	R.C. ⁽³⁾	pH	R.C. ⁽³⁾	pH	R.C. ⁽³⁾	H + Al	Al	Ca	Mg	Na	K	CTC _e	CTC _{7,0}	V%	
Descrição	---- g kg ⁻¹ ----		H ₂ O ⁽²⁾	SMP ⁽²⁾	(t/ha)	Sikora	(t/ha)	TSM	(t/ha)	-----	-----	-----	-----	mmol _c dm ⁻³ -----	-----	-----	-----	-----	
1	1	728	45	1,4	5,8	0,9	5,9	0,7	5,9	0,7	44,5	2	32,1	3,3	0,2	3,0	41	83	46
2	2	743	41	0,3	5,9	0,9	6,0	0,7	6,1	0,6	50,3	1	24,0	6,2	0,2	1,8	34	83	39
3	3	157	18	0,0	6,2	0,9	6,2	0,8	6,2	0,9	33,6	1	17,3	2,7	0,3	0,7	22	55	38
4	4	275	30	0,8	6,1	1,0	6,2	0,0	6,1	0,0	41,5	2	36,9	5,8	0,2	1,8	46	86	52
5	5	63	13	0,0	5,6	0,0	5,6	3,3	5,7	2,9	51,8	16	3,3	0,9	0,4	0,3	21	57	9
6	6	756	47	0,8	5,6	3,1	5,7	1,7	5,8	1,4	70,9	2	22,5	5,5	0,2	2,7	33	102	30
7	7	685	50	0,3	6,0	1,9	6,1	0,0	6,1	0,0	48,8	0	45,7	5,8	0,2	2,0	54	102	52
8	8	176	15	1,8	6,4	0,0	6,4	0,4	6,4	0,4	26,3	0	16,1	4,7	0,3	1,3	23	49	46
9	9	749	52	8,3	5,7	0,5	5,9	1,0	5,8	1,1	65,7	1	24,7	8,7	0,5	3,3	38	103	36
10	10	644	49	6,8	6,0	1,3	6,1	0,0	6,1	0,0	47,1	0	38,9	13,3	0,6	1,8	55	102	54
11	11	555	45	2,7	5,5	0,0	5,5	3,4	5,5	3,3	84,6	13	5,9	4,1	0,3	1,3	25	96	12
12	12	461	35	1,8	5,7	3,1	5,7	2,7	5,8	2,5	67,2	9	5,0	5,2	0,5	1,1	21	79	15
13	13	523	30	2,2	6,1	2,7	6,2	0,3	6,2	0,4	32,5	0	24,4	8,4	0,4	1,1	35	67	51
14	14	124	19	1,8	5,6	0,6	5,6	3,2	5,6	3,3	64,5	16	3,7	1,8	0,3	1,1	23	72	10
15	15	621	50	1,1	5,6	3,2	5,6	3,2	5,5	3,3	87,1	9	3,7	4,6	0,3	1,3	19	97	10
16	16	114	14	6,8	6,8	3,0	6,8	0,0	6,8	0,0	12,5	1	24,6	6,2	0,4	1,1	33	45	72
17	17	172	14	7,5	6,1	0,0	6,1	1,9	6,1	1,7	38,5	8	5,4	1,2	0,3	0,3	15	46	16
18	18	305	29	4,9	5,8	1,9	5,9	1,6	5,8	1,6	58,1	4	21,0	3,7	0,5	0,9	30	84	31
19	19	460	37	6,8	7,2	1,6	7,3	0,0	7,2	0,0	26,6	1	64,7	11,9	0,9	1,0	80	105	75
20	20	701	44	5,5	5,8	0,0	5,9	0,8	5,8	0,9	62,5	2	30,2	7,8	0,6	2,2	43	103	40
21	21	452	29	5,7	6,0	0,9	6,1	0,5	6,1	0,5	47,3	2	27,5	5,4	0,3	1,5	37	82	42
22	22	216	18	5,7	6,3	0,6	6,3	0,3	6,3	0,2	32,4	2	20,3	6,9	0,4	1,1	31	61	47
23	23	458	27	5,6	6,2	0,3	6,2	0,2	6,3	0,1	43,7	1	24,9	7,2	0,3	2,4	36	78	44
24	24	429	29	4,9	5,5	0,2	5,6	2,9	5,6	3,0	63,0	13	6,5	3,9	0,5	1,4	25	75	16
25	25	552	36	5,5	6,1	3,0	6,1	0,7	6,1	0,7	52,6	1	20,7	6,3	0,4	1,3	30	81	35
26	26	549	37	6,0	6,4	0,8	6,4	0,0	6,4	0,0	34,8	1	34,9	12,6	0,3	1,7	51	84	59

⁽¹⁾ Determinado conforme EMBRAPA (1997); ⁽²⁾ Determinado conforme Tedesco et al. (1995); ⁽³⁾ calculada par atingir saturação de bases a 50%.

APÊNDICE 5 - continuação....

Numero		Argila ⁽¹⁾	MO ⁽¹⁾	pH	pH	R.C ⁽³⁾	pH	R.C ⁽³⁾	pH	R.C ⁽³⁾	H + Al	Al	Ca	Mg	Na	K	CTC _e	CTC _{7,0}	V%
Descrição		---- g kg ⁻¹ ----		H ₂ O ⁽²⁾	SMP ⁽²⁾	(t/ha)	Sikora	(t/ha)	TSM	(t/ha)					mmol _c dm ⁻³				
27	27	675	52	5,2	5,5	2,4	5,5	2,5	5,5	2,4	70,3	9	17,0	10,6	0,4	1,4	39	100	30
28	28	723	43	5,7	6,1	0,0	6,2	0,0	6,2	0,0	56,7	0	38,7	9,4	0,4	1,6	51	107	47
29	29	465	36	4,0	5,2	4,1	5,3	4,1	5,3	4,0	80,7	26	4,5	5,6	1,1	1,1	38	93	13
30	30	440	47	3,9	5,0	4,9	5,2	4,6	5,1	4,8	103,7	28	6,6	3,2	0,7	1,1	39	115	10
31	31	458	27	5,1	5,9	1,3	5,9	1,2	6,0	1,1	72,4	2	19,7	5,9	0,3	2,2	30	100	28
32	32	530	33	5,5	6,0	0,6	6,1	0,4	6,1	0,5	51,5	1	24,9	6,2	0,2	3,3	36	86	40
33	33	457	30	5,3	5,7	2,8	5,7	2,8	5,7	2,7	63,0	14	4,2	3,4	0,5	0,7	23	72	12
34	34	654	41	5,4	6,0	0,8	6,0	0,8	6,1	0,8	61,3	2	23,6	5,0	0,4	1,6	32	92	33
35	35	523	70	5,3	5,6	2,3	5,7	2,1	5,6	2,3	68,8	7	18,2	6,1	0,5	0,9	33	95	27
36	36	569	30	5,8	6,3	0,0	6,3	0,0	6,4	0,0	35,3	1	27,9	6,5	0,3	3,5	39	73	52
37	37	159	20	5,9	6,3	0,5	6,4	0,4	6,3	0,4	40,7	1	17,3	6,4	0,6	1,0	26	66	38
38	38	243	26	5,3	5,8	2,2	5,9	2,1	5,8	2,2	48,0	7	8,8	2,9	0,6	0,4	20	61	21
39	39	87	12	5,5	6,6	0,5	6,5	0,6	6,5	0,5	33,2	2	12,0	3,9	0,7	0,3	19	50	34
40	40	321	23	5,0	5,8	2,1	5,9	2,1	5,9	2,1	57,3	7	9,9	2,2	0,6	1,1	21	71	19
41	41	201	24	5,8	6,1	0,5	6,2	0,4	6,2	0,5	42,1	1	18,0	12,7	0,6	0,6	33	74	43
42	42	97	14	5,6	6,5	0,2	6,5	0,2	6,5	0,2	36,0	1	17,7	6,0	0,5	1,3	26	62	42
43	43	322	30	5,7	6,2	0,0	6,3	0,0	6,2	0,0	44,1	1	33,5	13,4	0,6	1,8	50	93	53
44	44	187	15	4,9	5,9	2,2	5,9	2,2	6,0	2,0	58,3	12	6,2	1,3	0,6	0,8	21	67	13
45	45	219	24	5,6	6,0	1,5	6,1	1,4	6,0	1,5	56,1	4	14,5	3,3	0,7	0,6	23	75	25
46	46	71	7	5,3	6,6	0,5	6,5	0,6	6,6	0,4	26,4	3	9,1	5,4	0,6	0,7	19	42	37
47	47	70	11	5,4	6,5	0,9	6,4	1,0	6,5	0,9	28,6	2	7,3	2,5	0,6	0,6	13	40	28
48	48	228	21	4,7	5,8	2,1	5,8	2,2	5,8	2,0	58,8	11	10,5	5,5	0,7	0,7	28	76	23
49	49	265	23	4,3	5,6	3,0	5,7	3,0	5,7	2,9	66,9	17	7,0	1,2	0,7	0,4	26	76	12
50	50	323	20	5,4	6,1	1,7	6,1	1,6	6,1	1,5	48,8	7	7,6	2,8	0,5	0,7	18	60	19
51	51	461	29	5,0	5,8	2,0	5,9	1,9	5,9	2,0	60,3	6	7,9	6,9	0,6	1,0	23	77	21
52	52	206	21	5,7	6,3	0,5	6,3	0,5	6,3	0,5	38,0	1	16,7	8,4	0,6	0,4	27	64	41

⁽¹⁾ Determinado conforme EMBRAPA (1997); ⁽²⁾ Determinado conforme Tedesco et al. (1995); ⁽³⁾ calculada par atingir saturação de bases a 50%.

APÊNDICE 5 - continuação....

Numero	Descrição	Argila ⁽¹⁾ ---- g kg ⁻¹ ----	MO ⁽¹⁾ -----	pH H ₂ O ⁽²⁾	pH SMP ⁽²⁾	R.C ⁽³⁾ (t/ha)	pH Sikora	R.C ⁽³⁾ (t/ha)	pH TSM	R.C ⁽³⁾ (t/ha)	H + Al	Al	Ca	Mg	Na mmol _c dm ⁻³	K	CTC _e	CTC _{7,0}	V%
53	53	572	35	5,9	6,4	0,0	6,4	0,0	6,4	0,0	37,5	0	25,6	12,4	0,7	0,9	40	77	51
54	54	702	49	5,4	5,4	2,7	5,6	2,4	5,5	2,7	95,1	7	16,5	5,9	0,3	2,5	32	120	21
55	55	706	46	5,2	5,6	2,5	5,7	2,3	5,7	2,4	82,9	7	12,1	5,9	0,7	0,9	26	102	19
56	56	189	21	5,5	6,1	1,2	6,1	1,3	6,0	1,4	39,0	3	12,5	6,3	0,4	0,4	23	59	33
57	57	415	30	5,6	6,0	1,2	6,1	1,0	6,0	1,2	44,4	2	14,8	8,0	0,4	0,5	26	68	35
58	58	308	25	5,6	6,3	0,4	6,3	0,5	6,3	0,5	27,3	2	13,5	11,2	0,6	1,1	28	54	49
59	59	155	15	6,0	6,7	0,0	6,6	0,0	6,6	0,0	15,7	0	19,8	8,9	0,4	0,6	30	45	65
60	60	136	18	4,9	5,9	2,4	6,0	2,3	5,9	2,4	45,4	17	0,8	3,1	0,5	0,5	22	50	10
61	61	135	28	5,5	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	40,2	1	45,8	12,2	0,6	2,7	62	102	60
62	62	422	51	4,7	5,0	4,0	5,1	4,1	5,0	4,0	104,8	28	10,0	17,0	0,6	3,2	59	136	23
63	63	623	34	5,0	5,9	1,5	5,9	1,5	5,9	1,5	51,0	2	16,1	7,3	0,5	1,3	28	76	33
64	64	497	32	5,3	6,1	0,2	6,1	0,1	6,1	0,1	42,7	1	30,1	9,0	0,6	2,6	43	85	50
65	65	81	10	5,6	6,6	0,0	6,5	0,0	6,5	0,0	19,9	2	18,0	15,1	0,5	0,4	36	54	63
66	66	223	28	5,5	6,2	0,0	6,3	0,0	6,2	0,0	36,8	1	33,2	6,4	0,6	2,1	43	79	53
67	67	177	31	4,8	5,5	3,4	5,6	3,5	5,5	3,5	74,6	18	2,2	3,0	0,4	1,1	25	81	8
68	68	187	18	4,9	6,2	0,8	6,2	0,9	6,1	0,9	35,1	2	19,1	3,4	0,6	1,3	26	59	41
69	69	718	35	4,7	5,8	2,1	5,7	2,3	5,7	2,3	58,2	8	7,1	10,6	0,7	0,8	28	77	25
70	70	670	37	5,5	6,1	0,0	6,2	0,0	6,2	0,0	38,8	1	34,5	9,1	0,5	2,0	47	85	54
71	71	305	26	5,2	6,0	0,6	6,0	0,6	6,0	0,5	44,4	2	31,7	4,1	0,7	1,5	40	82	46
72	72	66	9	4,9	6,5	1,3	6,3	1,6	6,4	1,5	30,2	9	0,4	1,2	0,6	0,4	11	33	8
73	73	577	33	5,2	6,1	0,2	6,1	0,2	6,0	0,3	44,7	1	27,9	7,9	0,5	3,6	41	85	47
74	74	643	40	5,5	6,0	0,4	6,0	0,3	6,0	0,4	52,8	1	31,0	6,4	0,6	3,2	42	94	44
75	75	197	23	5,7	6,3	0,0	6,3	0,0	6,3	0,0	31,2	0	28,3	9,3	0,6	1,5	40	71	56
76	76	554	31	5,2	6,0	0,8	6,0	0,7	6,0	0,8	51,5	2	24,1	6,1	0,7	4,2	37	87	41
77	77	556	37	5,4	6,0	0,5	6,0	0,4	6,0	0,5	50,1	1	27,3	11,2	0,7	0,9	41	90	44
78	78	451	25	5,1	5,8	1,9	5,9	1,8	5,8	1,8	50,3	5	13,0	5,9	0,8	1,2	26	71	29

⁽¹⁾ Determinado conforme EMBRAPA (1997); ⁽²⁾ Determinado conforme Tedesco et al. (1995); ⁽³⁾ calculada par atingir saturação de bases a 50%.

APÊNDICE 5 - continuação....

Numero		Argila ⁽¹⁾	MO ⁽¹⁾	pH	pH	R.C ⁽³⁾	pH	R.C ⁽³⁾	pH	R.C ⁽³⁾	H + Al	Al	Ca	Mg	Na	K	CTC _e	CTC _{7,0}	V%
Descrição		---- g kg ⁻¹ ----	----	H ₂ O ⁽²⁾	SMP ⁽²⁾	(t/ha)	Sikora	(t/ha)	TSM	(t/ha)	-----				mmol _c dm ⁻³	-----			
79	79	520	30	5,4	5,9	1,0	5,9	1,1	5,9	1,1	47,1	1	23,8	5,5	0,6	1,1	33	78	40
80	80	432	26	4,9	5,9	1,5	6,0	1,5	5,9	1,5	44,2	4	14,6	3,6	0,7	2,0	25	65	32
81	81	405	22	5,2	6,0	1,6	6,0	1,7	5,9	1,8	40,7	4	11,6	4,0	0,6	1,2	21	58	30
82	82	449	29	4,9	5,8	1,3	5,9	1,4	5,8	1,3	46,9	9	21,3	7,3	0,9	1,2	39	78	40
83	83	472	30	5,4	6,1	0,2	6,2	0,1	6,1	0,2	39,3	0	24,3	11,5	0,7	2,5	39	78	50
84	84	605	31	5,4	6,2	0,0	6,2	0,0	6,2	0,0	33,1	1	30,7	6,6	0,7	3,1	42	74	55
85	85	596	45	5,2	5,7	1,2	5,8	1,2	5,7	1,3	65,8	3	28,9	7,4	1,1	1,0	42	104	37
86	86	89	14	5,2	6,3	0,3	6,2	0,5	6,3	0,4	26,3	2	16,2	8,1	0,6	3,0	30	54	52
87	87	585	35	5,3	5,9	1,0	5,9	1,2	5,9	1,1	53,0	2	21,7	8,9	0,8	1,2	35	86	38
88	88	677	32	5,3	5,9	1,4	5,9	1,3	5,8	1,5	48,8	7	17,8	6,5	1,0	2,7	35	77	36
89	89	497	27	5,5	6,2	0,0	6,2	0,0	6,2	0,0	31,2	1	29,4	11,1	0,8	1,0	43	74	58
90	90	614	33	5,3	6,1	0,0	6,1	0,0	6,1	0,0	42,4	1	33,6	9,5	0,8	3,6	49	90	53
91	91	621	38	5,0	5,9	1,6	5,9	1,7	5,8	1,8	54,0	4	16,1	4,5	0,9	2,1	27	78	30
92	92	635	39	5,0	5,8	0,7	5,8	0,7	5,8	0,7	55,4	2	34,5	7,9	0,7	2,2	47	101	45
93	93	166	20	4,7	6,0	0,9	5,9	1,1	5,9	1,1	41,5	8	11,4	16,3	0,8	2,0	39	72	42
94	94	672	42	4,9	5,7	2,0	5,7	2,0	5,7	2,0	62,5	7	16,4	6,1	0,8	2,0	32	88	29
95	95	195	13	5,9	6,8	0,0	6,7	0,0	6,8	0,0	10,8	1	11,2	11,9	0,8	0,9	25	35	70
96	96	110	12	5,0	6,3	1,0	6,1	1,4	6,2	1,3	29,2	9	8,5	5,3	0,9	0,9	24	45	35
97	97	81	13	5,4	6,6	0,3	6,5	0,4	6,5	0,4	21,6	1	13,5	4,8	0,7	0,8	20	41	48
98	98	163	18	5,6	6,6	0,0	6,5	0,0	6,6	0,0	20,6	0	24,2	7,6	0,6	1,6	35	55	62
99	99	133	13	5,0	6,2	1,6	6,1	1,8	6,1	1,8	41,2	10	2,0	2,9	0,7	0,8	16	48	13
100	100	655	43	5,5	6,2	0,0	6,2	0,0	6,1	0,0	44,7	0	40,6	14,2	0,8	3,9	60	104	57
101	101	333	27	5,8	6,4	0,0	6,4	0,0	6,3	0,0	34,9	0	31,0	14,0	0,9	4,3	51	85	59
102	102	103	14	6,1	7,0	0,0	6,9	0,0	6,9	0,0	14,2	0	30,1	7,1	0,9	2,0	41	54	74
103	103	493	29	5,8	6,3	0,0	6,3	0,0	6,3	0,0	35,8	12	35,7	10,4	0,8	2,2	61	85	58
104	104	532	25	5,7	6,2	0,0	6,2	0,1	6,2	0,1	39,8	1	27,8	7,2	0,8	3,2	40	79	49

⁽¹⁾ Determinado conforme EMBRAPA (1997); ⁽²⁾ Determinado conforme Tedesco et al. (1995); ⁽³⁾ calculada par atingir saturação de bases a 50%.

APÊNDICE 5 - continuação....

Numero Descrição		Argila ⁽¹⁾ MO ⁽¹⁾ --- - g kg ⁻¹ ----		pH H ₂ O ⁽²⁾	pH SMP ⁽²⁾	R.C ⁽³⁾ (t/ha)	pH Sikora	R.C ⁽³⁾ (t/ha)	pH TSM	R.C ⁽³⁾ (t/ha)	H + Al -----	Al	Ca	Mg	Na mmol _c dm ⁻³	K -----	CTC _e	CTC _{7,0}	V%
105	105	762	42	4,9	5,6	2,4	5,7	2,4	5,7	2,4	76,8	8	16,5	2,0	0,8	0,8	28	97	21
106	106	145	14	5,2	6,2	1,7	6,1	2,1	6,1	1,9	36,3	9	1,0	2,1	0,6	1,6	14	42	13
107	107	168	14	5,4	6,6	0,0	6,5	0,0	6,5	0,0	28,5	1	18,1	9,0	0,8	4,1	33	60	53
108	108	713	37	5,3	6,0	0,3	6,0	0,4	5,9	0,4	59,1	2	29,3	11,1	1,0	2,7	46	103	43
109	109	237	24	4,5	5,6	3,2	5,6	3,4	5,6	3,4	74,6	18	0,6	2,5	0,8	0,9	22	79	6
110	110	680	46	5,0	5,5	0,4	5,6	0,5	5,5	0,4	83,9	9	57,1	8,2	0,9	0,7	76	151	44

⁽¹⁾ Determinado conforme EMBRAPA (1997); ⁽²⁾ Determinado conforme Tedesco et al. (1995); ⁽³⁾ calculada par atingir saturação de bases a 50%.

APÊNDICE 6 - Atributos físico-químicos e recomendação de calagem (R.C.), em t ha⁻¹, para atingir pH 6,0, das 103 amostras de solos na camada de 0-20 cm do Estado do RS.

número descrição		Argila ⁽¹⁾ ---- g kg ⁻¹ ----	MO ⁽¹⁾	pH H ₂ O ⁽²⁾	pH SMP ⁽²⁾	R.C. pH 6,0	pH Sikora	R.C. pH 6,0	pH TSM	R.C. pH 6,0	H+Al	Al	Ca	Mg	Na	K	CTC _e	CTC _{7,0}	V%
		mmol _c dm ⁻³ -----																	
1	1	101	26	5,1	6,4	1,4	6,5	1,1	6,4	1,4	26,5	4	13,2	9,1	2,5	2,6	32	54	51
2	2	78	10	5,4	6,8	0,3	6,6	0,8	6,7	0,5	16,9	3	10,8	6,4	0,7	0,9	22	36	53
3	5	66	13	5,9	7,1	0,0	7,1	0,0	7,2	0,0	9,6	1	24,7	9,5	0,8	2,1	39	47	80
4	6	160	25	5,2	6,6	0,8	6,4	1,4	6,6	0,8	24,3	1,	42,0	22,4	3,2	4,0	73	96	75
5	7	104	15	6,4	7,0	0,0	6,6	0,8	6,9	0,2	12,5	1	57,8	44,2	25,0	6,7	135	146	91
6	8	89	15	5,0	6,6	0,8	6,5	1,1	6,6	0,8	25,8	9	6,8	5,0	0,6	2,5	24	41	37
7	9	133	24	5,7	6,8	0,3	6,7	0,5	6,8	0,3	19,2	1	96,4	43,3	1,1	3,2	145	163	88
8	10	219	64	5,7	6,3	1,8	6,3	1,8	6,3	1,8	47,9	1	79,3	30,4	1,7	7,7	121	167	71
9	20	465	34	4,4	5,2	8,3	5,3	7,5	5,3	7,5	93,6	40	15,7	10,0	0,8	5,0	71	125	25
10	21	312	65	4,4	5,4	6,8	5,5	6,1	5,4	6,8	77,4	20	42,4	29,3	1,4	1,7	95	152	49
11	22	176	10	5,0	6,1	2,7	6,0	3,2	6,0	3,2	46,4	7	32,3	11,5	1,2	3,5	56	95	51
12	23	262	41	5,4	6,3	1,8	6,4	1,4	6,3	1,8	33,9	3	46,0	21,8	1,6	12,7	85	116	71
13	24	118	52	4,7	6,2	2,2	6,2	2,2	6,2	2,2	42,7	10	16,3	8,4	1,1	3,9	40	72	41
14	28	170	16	5,1	6,3	1,8	6,3	1,8	6,4	1,4	39,8	7	18,3	10,1	0,8	2,5	39	71	44
15	29	145	44	5,3	6,5	1,1	6,4	1,4	6,5	1,1	31,7	4	20,9	10,9	1,0	2,9	40	67	53
16	11	266	35	4,4	5,4	6,8	5,5	6,1	5,5	6,1	96,5	39	14,5	11,6	2,3	2,2	70	127	24
17	12	270	20	4,5	5,3	7,5	5,4	6,8	5,3	7,5	98,0	16	40,6	29,1	2,1	3,2	91	173	43
18	13	105	34	4,6	6,4	1,4	6,3	1,8	6,5	1,1	31,7	11	12,8	4,3	0,6	2,9	32	52	40
19	14	236	44	4,5	5,3	7,5	5,3	7,5	5,2	8,3	94,3	26	39,7	5,6	1,3	4,5	77	145	35
20	15	163	37	5,1	6,0	3,2	6,1	2,7	6,0	3,2	53,8	3	60,4	22,4	2,3	3,0	92	142	62
21	16	248	42	4,5	6,1	2,7	6,0	3,2	6,1	2,7	37,6	18	31,5	35,3	0,9	3,6	90	109	65
22	17	221	26	5,0	6,0	3,2	6,0	3,2	6,1	2,7	52,3	4	54,8	23,7	1,5	2,9	88	135	61
23	18	237	23	5,0	6,0	3,2	6,0	3,2	6,0	3,2	53,8	3	58,4	24,9	0,8	3,3	91	141	62
24	19	299	45	4,8	5,4	6,8	5,5	6,1	5,4	6,8	81,8	37	9,4	6,4	0,9	3,6	58	102	20
25	62	82	18	5,7	5,8	4,2	6,0	3,2	5,8	4,2	65,6	1	49,6	27,1	1,3	10,7	90	154	57
26	63	212	17	5,6	6,0	3,2	6,1	2,7	6,0	3,2	47,9	2	24,3	16,6	0,7	3,2	48	93	48

(1) Determinado conforme EMBRAPA (1997); (2) Determinado conforme Tedesco et al. (1995).

APÊNDICE 6 - continuação....

número descrição		Argila ⁽¹⁾ ---- g kg ⁻¹ ----	CO ⁽¹⁾ ----	PH H ₂ O ⁽²⁾	pH SMP ⁽²⁾	R.C. pH 6,0	pH Sikora	R.C. pH 6,0	pH TSM	R.C. pH 6,0	H + Al -----	Al	Ca	Mg	Na mmol _c dm ⁻³	K -----	CTC _e	CTC _{7,0}	%V
27	25	419	20	4,9	6,1	2,7	5,9	3,7	6,1	2,7	38,3	18	24,3	25,1	1,3	3,5	72	93	59
28	26	261	27	4,7	5,6	5,4	5,6	5,4	5,6	5,4	67,8	19	37,9	19,9	3,5	3,4	83	133	49
29	27	233	20	5,4	6,5	1,1	6,4	1,4	6,5	1,1	22,1	4	24,1	20,6	1,3	2,7	52	71	69
30	37	191	32	4,6	5,5	6,1	5,5	6,1	5,6	5,4	68,5	30	16,9	10,9	1,7	1,5	61	99	31
31	38	230	21	4,8	5,6	5,4	5,7	4,8	5,7	4,8	62,6	26	19,9	10,9	1,1	1,0	59	96	34
32	46	173	29	4,7	5,9	3,7	5,7	4,8	5,9	3,7	67	22	35,9	23,6	1,2	1,4	84	129	48
33	47	138	35	4,5	5,7	4,8	5,7	4,8	5,8	4,2	59,7	30	8,8	5,1	0,7	1,2	46	76	21
34	48	240	14	4,8	5,8	4,2	5,8	4,2	5,9	3,7	61,2	15	35,7	21,4	1,5	2,3	76	122	50
35	53	211	10	4,9	6,1	2,7	6,1	2,7	6,2	2,2	54,5	7	18,1	7,7	0,6	2,6	36	84	35
36	54	364	22	4,1	4,4	21,0	4,4	21,0	4,4	21,0	137,1	47	4,0	4,2	0,7	2,6	59	149	8
37	55	338	24	4,7	5,2	8,3	5,1	9,1	5,2	8,3	103,2	19	21,1	11,1	0,7	4,8	57	141	27
38	56	353	43	4,2	5,1	9,1	5,0	9,9	5,0	9,9	102,4	29	7,4	4,6	0,7	3,9	46	119	14
39	57	308	44	4,7	5,5	6,1	5,3	7,5	5,6	5,4	89,9	14	13,7	11,9	1,0	9,0	50	125	28
40	58	308	34	5,1	6,0	3,2	5,2	8,3	6,0	3,2	61,9	8	16,7	12,2	0,5	2,1	39	93	34
41	59	347	43	4,9	5,8	4,2	5,6	5,4	5,7	4,8	84,7	11	18,3	15,0	0,7	4,4	49	123	31
42	50	142	24	4,4	5,8	4,2	5,8	4,2	5,8	4,2	53,1	18	3,2	6,0	0,6	1,8	30	65	18
43	51	116	44	5,2	6,9	0,2	6,7	0,5	6,8	0,3	26,5	7	4,2	3,1	0,4	1,3	16	35	25
44	52	175	56	4,1	5,3	7,5	5,3	7,5	5,3	7,5	74,4	27	5,4	2,7	0,7	1,6	37	85	12
45	64	119	34	5,7	6,8	0,3	6,7	0,5	6,7	0,5	31,0	1	11,0	8,4	0,6	6,4	28	57	46
46	65	138	54	7,4	7,4	0,0	7,5	0,0	7,4	0,0	12,5	0	57,4	28,4	0,8	3,9	91	103	88
1	49	472	26	5,5	6,2	2,2	6,2	2,2	6,2	2,2	47,2	1	64,2	39,3	0,7	6,8	112	158	70
2	60	330	19	6,6	6,7	0,5	6,6	0,5	6,7	0,5	49,4	2	140,3	47,8	4,1	14,2	208	256	81
3	61	440	48	5,7	6,5	1,1	6,2	1,1	6,5	1,1	50,8	1	52,0	35,1	0,8	7,2	96	146	65
4	66	188	18	5,6	6,2	2,2	4,7	2,2	6,1	2,2	41,3	3	30,5	27,5	1,6	2,3	65	103	60
5	67	369	46	4,6	5,4	6,8	5,8	6,8	5,3	6,8	86,2	9	30,3	24,4	0,5	3,9	69	145	41
6	68	368	43	5,9	6,2	2,2	6,4	2,2	6,3	2,2	46,4	0	42,2	27,7	0,6	7,1	78	124	63

(1) Determinado conforme EMBRAPA (1997); (2) Determinado conforme Tedesco et al. (1995).

APÊNDICE 6 - continuação....

número descrição		Argila ⁽¹⁾ ---- g kg ⁻¹ ----	CO ⁽¹⁾ ----	pH H ₂ O ⁽²⁾	pH SMP ⁽²⁾	R.C. pH 6,0	pH Sikora	R.C. pH 6,0	pH TSM	R.C. pH 6,0	H + Al	Al	Ca	Mg	Na	K	CTC	CTC _{7,0}	%V
												-----mmolc dm-3 -----							
7	69	226	49	6,8	6,5	1,1	6,8	1,1	6,5	1,1	32,4	0	87,7	31,2	0,6	1,3	121	153	79
8	70	301	31	5,1	6,0	3,2	5,8	3,2	6,0	3,2	59,0	12	13,7	13,5	0,5	3,3	43	90	34
9	71	227	35	5,2	6,0	3,2	5,9	3,2	5,9	3,2	53,8	8	22,4	10,4	0,4	1,9	43	89	40
10	72	227	28	5,0	5,7	4,0	5,8	4,0	5,6	4,0	45,7	16	6,4	4,8	0,4	0,8	28	58	21
11	73	586	41	4,5	5,1	4,8	5,0	4,8	5,1	4,8	95,1	27	14,1	8,2	0,3	2,3	52	120	21
12	74	524	49	6,3	6,4	1,4	6,5	1,4	6,4	1,4	39,1	0	76,0	36,5	0,5	3,6	117	156	75
13	75	658	47	5,9	6,1	2,7	5,9	2,7	6,0	2,7	57,5	0	65,3	29,3	1,0	9,4	105	162	65
14	76	688	45	4,9	5,4	6,8	5,2	6,8	5,5	6,8	78,9	15	34,2	20,7	0,6	3,8	74	138	43
15	77	210	44	6,5	6,7	0,5	6,4	0,5	6,7	0,5	39,1	0	252,2	54,3	1,1	9,2	317	356	89
16	78	277	89	6,0	6,5	1,1	6,1	1,1	6,5	1,1	65,6	0	197,9	58,3	1,4	8,2	266	331	80
17	79	646	28	5,7	6,5	1,1	6,4	1,1	6,5	1,1	39,1	0	54,3	24,0	0,9	6,2	86	124	69
18	80	506	55	7,0	7,1	0,0	7,1	0,0	7,0	0,0	21,4	0	187,9	29,4	1,0	9,3	228	249	91
19	81	698	42	6,4	6,6	0,8	6,6	0,8	6,6	0,8	36,1	0	76,0	32,9	0,8	5,6	116	151	76
20	82	819	35	4,7	5,3	7,5	5,1	7,5	5,3	7,5	70,7	25	17,7	6,6	0,3	2,2	52	98	28
21	83	527	43	6,1	6,2	2,2	6,1	2,2	6,1	2,2	50,1	1	57,3	27,8	0,6	2,4	89	138	64
22	84	539	39	5,8	6,1	2,7	6,1	2,7	6,1	2,7	56,0	0	55,3	28,9	0,5	4,3	89	145	61
23	85	574	33	5,5	6,1	2,7	5,8	2,7	6,1	2,7	65,6	2	46,2	29,6	0,7	6,4	85	149	56
24	86	480	51	6,0	6,5	1,1	6,2	1,1	6,5	1,1	53,1	0	60,6	24,9	1,0	9,2	96	149	64
25	87	567	25	5,9	5,9	3,7	5,6	3,7	5,9	3,7	69,3	11	24,4	15,4	0,5	3,8	55	114	39
26	88	538	42	4,6	5,3	7,5	5,3	7,5	5,3	7,5	92,9	13	29,1	12,9	0,5	5,2	61	141	34
27	89	559	30	4,8	5,3	7,5	5,4	7,5	5,3	7,5	83,3	17	20,8	12,2	0,6	4,0	55	121	31
28	90	562	49	5,7	5,9	3,7	5,9	3,7	5,9	3,7	69,3	1	67,3	30,5	1,1	11,0	111	179	61
29	91	420	55	6,1	6,2	2,2	6,2	2,2	6,2	2,2	53,1	1	74,3	37,7	1,1	7,3	121	173	69
30	92	523	27	5,2	5,5	6,1	5,1	6,1	5,5	6,1	101,0	12	31,1	17,4	0,9	7,2	69	158	36
31	93	499	39	5,0	5,3	7,5	5,2	7,5	5,2	7,5	89,2	16	24,1	16,2	0,3	2,3	59	132	32
32	94	373	37	6,8	7,0	0,0	6,9	0,0	7,0	0,0	28,0	0	79,7	48,3	0,8	4,8	134	162	83

⁽¹⁾ Determinado conforme EMBRAPA (1997); ⁽²⁾ Determinado conforme Tedesco et al. (1995).

APÊNDICE 6 - continuação....

número descrição		Argila ⁽¹⁾ ---- g kg ⁻¹ ----	CO ⁽¹⁾	pH H ₂ O ⁽²⁾	pH SMP ⁽²⁾	R.C. pH 6,0	pH Sikora	R.C. pH 6,0	pH TSM	R.C. pH 6,0	H + Al	Al	Ca	Mg	Na mmol _c dm ⁻³	K	CTC _e	CTC _{7,0}	%V
33	95	456	37	4,8	5,0	9,9	5,0	9,9	5,0	9,9	100,2	27	29,8	26,2	0,8	7,1	91	164	39
34	96	253	47	6,5	6,7	0,5	6,6	0,5	6,7	0,5	28,7	0	58,6	31,2	0,4	2,7	93	122	76
35	97	315	35	6,0	6,1	2,7	5,9	2,7	6,1	2,7	56,0	1	43,9	29,2	0,4	3,9	78	133	58
36	98	613	47	5,1	5,4	6,8	5,3	6,8	5,4	6,8	92,1	9	34,5	23,3	0,7	5,8	74	156	41
37	99	639	45	4,4	4,8	11,9	4,6	11,9	4,6	11,9	120,9	38	12,1	11,4	0,6	5,7	67	151	20
38	100	579	43	7,2	7,4	0,0	7,3	0,0	7,3	0,0	20,6	0	106,5	42,5	0,9	6,2	156	177	88
39	101	635	16	4,9	5,4	6,8	5,1	6,8	5,4	6,8	66,3	21	15,1	12,6	0,6	5,6	55	100	34
40	102	526	51	6,2	6,3	1,8	6,3	1,8	6,3	1,8	53,1	0	69,0	42,2	0,8	6,1	119	171	69
41	103	549	26	5,2	5,7	4,8	5,6	4,8	5,7	4,8	70,7	11	30,5	26,4	0,5	5,2	73	133	47
42	104	664	57	4,7	4,6	15,1	4,7	15,1	4,7	15,1	144,4	41	30,1	16,9	0,5	4,2	93	196	26
43	105	611	48	5,7	6,0	3,2	6,4	3,2	5,9	3,2	74,4	1	89,8	45,2	0,7	2,5	139	213	65
44	106	572	44	5,6	5,8	4,2	5,8	4,2	5,8	4,2	70,0	1	74,35	42,73	0,5	1,9	121	189	63
45	107	493	47	5,2	5,4	6,8	5,3	6,8	5,4	6,8	102,4	11	71,0	46,7	0,7	1,9	131	223	54
46	108	529	49	5,7	5,8	4,2	5,8	4,2	5,8	4,2	83,3	1	77,0	43,4	0,7	4,5	126	209	60
47	109	602	49	6,4	6,7	0,0	6,6	0,0	6,7	0,0	50,1	0	97,8	42,0	1,3	6,8	148	198	75
48	110	526	53	5,2	5,4	6,8	5,5	6,8	5,5	6,8	102,4	3	70,3	34,3	1,1	5,3	114	214	52
49	111	526	75	5,3	6,0	3,2	5,6	3,2	6,0	3,2	112,7	2	108,2	54,5	1,3	6,9	173	284	60
50	112	535	49	6,2	6,3	1,8	6,2	1,8	6,3	1,8	60,4	0	97,8	41,2	1,2	10,2	151	211	71
51	113	654	49	5,2	5,3	7,5	5,4	7,5	5,3	7,5	94,3	7	55,9	27,4	0,7	4,5	95	183	48
52	114	718	37	4,9	5,1	9,1	5,0	9,1	5,0	9,1	107,6	32	13,7	10,2	0,4	3,6	60	135	21
53	115	449	69	5,8	5,9	3,7	6,1	3,7	5,9	3,7	78,1	1	178,8	43,1	1,3	4,3	229	306	74
54	116	591	48	5,9	6,1	2,7	6,5	2,7	6,0	2,7	68,5	1	77,4	40,8	0,9	6,7	127	194	65
55	117	495	74	4,7	4,8	11,9	5,4	11,9	4,8	11,9	146,6	16	21,8	20,6	1,1	3,0	63	193	24
56	118	593	52	5,5	5,7	4,8	6,0	4,8	5,7	4,8	95,1	3	61,6	22,8	1,2	11,4	100	192	50
57	119	570	43	4,2	6,8	0,3	6,2	0,3	6,8	0,3	117,9	23	21,8	16,2	0,9	5,9	68	163	28

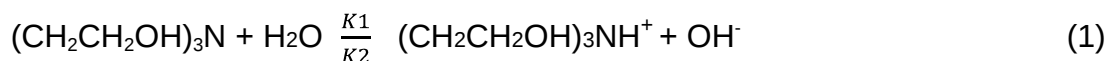
⁽¹⁾ Determinado conforme EMBRAPA (1997); ⁽²⁾ Determinado conforme Tedesco et al. (1995).

Apêndice 7 - Rotina de análise da identidade dos modelos.

```
Dados_Rosane<-read.table(file.choose(), h=TRUE)
Dados_Rosane
attach(Dados_Rosane)
is.data.frame(Dados_Rosane)
is.factor(Local)
is.numeric(SMP)
is.numeric(Sikora)
is.numeric(TSM)
is.numeric(H_AI)
M1<-lm(HAI~SMP+I(SMP^2)+D+SMP:D+I(SMP^2):D)
summary(M1)
M2<-lm(HAI~Sikora+I(Sikora^2)+D+Sikora:D+I(Sikora^2):Local)
summary(M2)
M3<-lm(HAI~TSM+I(TSM^2)+Local+TSM:Local+I(TSM^2):Local)
summary(M3)
```

Apêndice 8 - Modelagem do comportamento potenciométrico de uma solução tampão em função da neutralização da acidez segundo (TOLEDO, 2011).

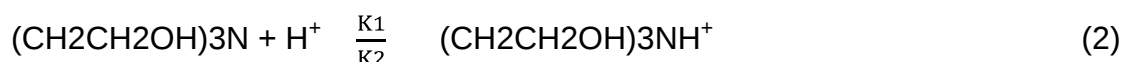
A reação abaixo descreve o comportamento da trietanolamina, uma das quatro bases do tampão SMP-RS/SC, quando em solução aquosa.



onde:

K₁= constante de velocidade da reação de formação do ácido conjugado.

K₂= constante de velocidade da reação de dissociação da forma ácida conjugada.



A velocidade da reação de formação do ácido conjugado, $d[(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3\text{NH}^+]/dt$, é dependente da constante de velocidade da reação de associação (K₁) e das concentrações de trietanolamina $[(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3\text{N}]$ e de íons hidrogênio $[\text{H}^+]$ no meio.

$$\frac{d[(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3\text{NH}^+]}{dt} = \text{K}_1 \cdot [\text{H}^+] \cdot [(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3\text{N}] \quad (3)$$

A velocidade da reação de dissociação da forma ácida conjugada, $d[(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3\text{NH}^+]/dt$, é dependente de K₂ e da concentração do ácido conjugado existente $[(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3\text{NH}^+]$.

$$\frac{d[(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3\text{NH}^+]}{dt} = \text{K}_2 \cdot [(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3\text{NH}^+] \quad (4)$$

Na condição de equilíbrio, as velocidades das reações de formação e de dissociação correspondentes às equações (3) e (4) são iguais, podendo ser expressas como:

$$\text{K}_1[\text{H}^+] [(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3\text{N}] = \text{K}_2[(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3\text{NH}^+] \quad (5)$$

ou,

$$\frac{\text{K}_1}{\text{K}_2} = \text{K} = \frac{[(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3\text{NH}^+]}{[\text{H}^+] [(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3\text{N}]} \quad (6)$$

ou,

$$\frac{K_1}{K_2} = K_a = \frac{[H^+][((CH_2CH_2OH)_3N)]}{[(CH_2CH_2OH)_3NH^+]} \quad (7)$$

onde, K e a constante de equilíbrio que define a formação de $(CH_2CH_2OH)_3NH^+$ e K_a , e a constante de equilíbrio que define a reação reversa, onde ocorre a dissociação de $(CH_2CH_2OH)_3NH^+$. Rearranjando a expressão de equilíbrio da equação (7), onde a concentração de íons hidrogênio e expressa em função de K_a e das concentrações de $(CH_2CH_2OH)_3NH^+$ e $(CH_2CH_2OH)_3N$ obtém-se:

$$[H^+] = K_a \cdot \frac{[(CH_2CH_2OH)_3NH^+]}{[(CH_2CH_2OH)_3N]} \quad (8)$$

A equação de Handerson-Hasselbach (HARRIS, 2001) explica a relação entre pH, pKa e ação tampão em qualquer ácido ou base e seus produtos (base ou ácido conjugados). Deste modo, uma vez que o valor de pH pode ser definido como o logaritmo negativo da concentração de íons hidrogênio, similarmente, o valor de pKa também pode ser definido como o logaritmo negativo de K_a . Assim, aplicando-se a expressão - log na equação (8) obtém-se:

$$-\log [H^+] = -\log K_a - \log \left[\frac{[(CH_2CH_2OH)_3NH^+]}{[(CH_2CH_2OH)_3N]} \right] \quad (9)$$

Quando a atividade e levada em conta, temos que pH é igual ao logaritmo negativo da atividade de H^+ . Uma vez que a atividade de H^+ é igual ao produto do coeficiente de atividade (γ_{H^+}) pela concentração de H^+ , tem-se a expressão:

$$pH = -\log (\gamma_{H^+}) - \log [H^+] \quad (10)$$

Isolando - log $[H^+]$ na expressão (10) e substituindo na equação (9) obtém-se:

$$pK_a - \log (\gamma_{H^+}) - pH = \log \left[\frac{[(CH_2CH_2OH)_3NH^+]}{[(CH_2CH_2OH)_3N]} \right] \quad (11)$$

De acordo com a equação de Davies (STUMM; MORGAN, 1995), o valor do γ_{H^+} é calculado como 0,733, resultando em:

$$8,03 - pH = \log \left[\frac{[(CH_2CH_2OH)_3NH^+]}{[(CH_2CH_2OH)_3N]} \right] \quad (12)$$

Assim, segundo a equação (12), quando o pH for igual a 8,03 a concentração de $(CH_2CH_2OH)_3NH^+$ será igual a de $(CH_2CH_2OH)_3N$ e a trietanolamina terá o seu máximo potencial de tamponamento do pH.

Considerando que a concentração total de trietanolamina (T_{TEA}) em solução é igual a soma das concentrações de base e de ácido conjugados obtém-se:

$$T_{TEA} = [(CH_2CH_2OH)_3N] + [((CH_2CH_2OH)_3NH^+)] \quad (13)$$

Isolando na equação (13) a forma ácida conjugada, substituindo na equação (11) e rearranjando os resultados de forma a expressar a concentração de base como uma função da concentração total de trietanolamina e do pH obtém-se:

$$[((CH_2CH_2OH)_3N)] = T_{TEA} \left(1 / \left\{ 1 + 10^{[pka - \log(\gamma_{H^+}) - pH]} \right\} \right) \quad (14)$$

Na equação (12), ao considerarmos a condição de pH inicial (pH_i) a qual a solução tampão SMP é ajustada (7,5), o lado direito da igualdade será positivo, indicando que a concentração de ácido conjugado é maior que a de base. Deste modo, a diferença entre a concentração de base no pH inicial e a concentração de base após o tampão reagir com a acidez do solo (modificando o valor de pH para pH_r), representa a concentração de base neutralizada ($[B_{neut.}]$) pela acidez do solo, conforme abaixo:

$$[B_{neut.}]_{=TEA} \left(1 / \left\{ 1 + 10^{[pka - \log(\gamma_{H^+}) - pH]} \right\} - 1 / \left\{ 1 + 10^{[pka - \log(\gamma_{H^+}) - pH]} \right\} \right) \quad (15)$$

A trietanolamina é apenas uma das bases que compõem o tampão SMP-RS/SC. Deste modo, o somatório das concentrações de base neutralizada para cada uma das quatro bases representará a concentração molar total de base neutralizada pela acidez do solo, ou de acidez do solo neutralizada pelo tampão, como segue:

$$[Total\ B\ neut.] = \sum_{i=1}^4 T_i \left(\left\{ 1 + 10^{[pka - \log(\gamma_{H^+}) - pH_i]} \right\} - 1 / \left\{ 1 + 10^{[pka - \log(\gamma_{H^+}) - pH_r]} \right\} \right) \quad (16)$$