

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE QUÍMICA  
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**LAVINIA MAYUMI ITO**

**COMPONENTES DA ACIDEZ EM SOLOS APÓS A INCUBAÇÃO COM  
CaCO<sub>3</sub>**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA  
2023**

**LAVINIA MAYUMI ITO**

**COMPONENTES DA ACIDEZ EM SOLOS APÓS A INCUBAÇÃO COM  
CaCO<sub>3</sub>**

**COMPONENTS O ACIDITY IN SOILS AFTER INCUBATION WITH CaCO<sub>3</sub>**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Licenciada em Química, do Departamento Acadêmico de Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus Londrina.

Orientadora: Profa. Dra. Alessandra Stevanato.

Co-orientador: Dr. Luciano Grillo Gil

**LONDRINA  
2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**LAVINIA MAYUMI ITO**

**COMPONENTES DA ACIDEZ EM SOLOS APÓS A INCUBAÇÃO COM  $\text{CaCO}_3$**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Licenciada em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 28 de junho de 2023

---

Profa. Dra. Cristiana da Silva  
Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)  
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

---

Profa. Dra. Delia Do Carmo Vieira  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus Londrina  
Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais

---

Dr. Luciano Grillo Gil  
Co-orientador  
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR) - Londrina

---

Profa. Dra. Alessandra Stevanato  
Orientadora  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus Londrina  
Departamento Acadêmico de Química

**LONDRINA**

**2023**

## RESUMO

Os solos brasileiros possuem diversas características que permitem o desenvolvimento de diferentes culturas e atividades sendo separados em 13 grupos (ordens de solo). No Estado do Paraná predominam os Latossolos, Argissolos, Cambissolos e Nitossolos. O potencial hidrogeniônico (pH) do solo influencia na disponibilidade de nutrientes essenciais às plantas e a correção do pH do solo o qual é uma prática essencial na produção agrícola, visto que aumenta a produtividade de alimentos e é importante para a conservação e manejo sustentável do solo no mundo inteiro. A determinação da acidez potencial pelo tampão Schoemaker, McLean e Pratt (SMP) possui diversas vantagens como rapidez na determinação, estreita relação entre o pH de equilíbrio e a acidez potencial, baixa quantidade usada de reagente em comparação ao método do acetato de cálcio. No entanto, há desvantagens em relação a sua calibração e composição de alguns reagentes químicos no tampão como o *p*-nitrofenol ( $C_6H_5NO_3$ ) e o cromato de potássio ( $K_2CrO_4$ ) que são considerados tóxicos e perigosos, pois reagentes tóxicos afetam o ambiente em que vivemos. Já o pH IPR/UEM que é uma homenagem ao Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR e Universidade Estadual de Maringá) é uma metodologia análoga ao tampão SMP, porém não usa reagentes tóxicos para a determinação da acidez potencial do solo, diminuindo os riscos pela exposição ocupacional, poluição atmosférica, contaminação de alimentos, de águas superficiais e subterrâneas ou pela geração de resíduos sólidos perigosos, além do menor custo para o tratamento e descarte dos resíduos gerados. Nesse experimento foram coletadas 20 amostras de solo com estrutura não preservada e foram feitas as seguintes análises para a determinação do pH: pH cloreto de cálcio ( $CaCl_2$ ), pH SMP, pH H + Al pelo método incubação do solo e pH IPR/UEM, sendo as três primeiras metodologias as mais utilizadas e o pH IPR/UEM foi escolhido por ser uma metodologia recém desenvolvida e possuir as vantagens supracitadas. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi comparar a acidez em solos do estado do Paraná após a incubação com  $CaCO_3$ , comparar os métodos indiretos na determinação da acidez potencial do solo como solução SMP e IPR/UEM e o comparar o pH da solução tampão e do solo após a incubação com  $CaCO_3$ . A partir dos resultados obtidos determinou-se que não há uma relação direta entre o pH  $CaCl_2$  e a acidez potencial H + Al, pois fornecem informações diferentes sobre a acidez do solo e são usados para diferentes finalidades de análise e manejo. Em relação ao pH SMP e pH IPR/UEM os valores foram bem próximos. Devido a isso, foi possível inferir que o pH IPR/UEM é uma ótima opção de análise, já que mostrou-se ser uma metodologia limpa, sem o uso de reagentes tóxicos.

**Palavras-chave:** Acidez Potencial; Tampão IPR/UEM; Tampão SMP.

## ABSTRACT

Brazilian soils have several characteristics that allow the development of different cultures and activities and are separated into 13 groups (soil orders). In the State of Paraná, Oxisols, Argisols, Cambisols and Nitisols predominate. The hydrogen ion potential (pH) of the soil influences the availability of essential nutrients to plants and the correction of soil pH is an essential practice in agricultural production, since it increases food productivity and is important for the conservation and sustainable management of the soil in the whole world. The determination of potential acidity by Schoemaker, McLean and Pratt buffer (SMP) has several advantages such as speed of determination, close relationship between equilibrium pH and potential acidity, low amount of reagent used compared to the calcium acetate method, however p-nitrophenol ( $C_6H_5NO_3$ ) and potassium chromate ( $K_2CrO_4$ ) that are considered toxic and dangerous, as toxic reagents affect the environment in which we live. The pH IPR/UEM, which is a tribute to the Agronomic Institute of Paraná - IAPAR and the State University of Maringá) is an analogous methodology to the SMP buffer, but does not use toxic reagents to determine the potential acidity of the soil, reducing the risks of exposure occupational hazards, air pollution, contamination of food and surface and underground water or the generation of hazardous solid waste, in addition to lower costs for the treatment and disposal of waste generated. In this experiment, 20 soil samples with non-preserved structure were collected and the following analyzes were performed to determine the pH: pH calcium chloride ( $CaCl_2$ ), pH SMP, pH H + Al by the soil incubation method and pH IPR/UEM, the first three methodologies being the most used and the pH IPR/UEM was chosen because it is a newly developed methodology and has the aforementioned advantages. Therefore, the objective of this work was to compare the acidity in soils of the state of Paraná after incubation with  $CaCO_3$ , to compare the indirect methods in the determination of the potential acidity of the soil as a SMP and IPR/UEM solution and to compare the pH of the buffer solution and the soil after incubation with  $CaCO_3$ . From the results obtained, it was determined that there is no direct relationship between pH  $CaCl_2$  and potential acidity H + Al, as they provide different information on soil acidity and are used for different analysis and management purposes. Regarding pH SMP and pH IPR/UEM, the values were very close. Due to this, it was possible to infer that the pH IPR/UEM is a great analysis option.

**Key words:** Potential Acidity; Buffer IPR/UEM; SMP buffer.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa das sedes administrativas e polos de inovação do IDR-PARANÁ.....	18
Figura 2 - Mapa de solos do Brasil.....	19
Figura 3 - Perfil do argissolo vermelho (Tarauacá-AC).....	20
Figura 4 - Perfil de cambissolo háplico (Arraial do Cabo-RJ).....	21
Figura 5 - Perfil latossolo vermelho (Lagoa Formosa-MG).....	22
Figura 6 - Perfil nitossolo vermelho (Bodoquena-MS).....	22
Figura 7 - Os quatros grandes processos de formação do solo.....	23
Figura 8 - Categoria de acidez e alcalinidade (em escala de pH) dos solos....	24
Figura 9 - Grau de disponibilidade crescente em função do pH.....	25
Figura 10 - Classificação química e agrônômica de pH.....	26
Figura 11 - Resumo das análises de solo.....	31
Figura 12 - Local de coleta dos dez solos no Estado do Paraná, total de 20 amostras de solo.....	35
Figura 13 - Folha de registro de entrada de amostras para análise de solo utilizada no IDR-PARANÁ.....	37
Figura 14 - Caixa para amostra de solo, bandeja de madeira para 30 amostras.....	37
Figura 15 - Cachimbo volumétrico para amostra de solo.....	38
Figura 16 - Agitador mecânico da marca Inova para amostra de solo.....	39
Figura 17 - Frascos de extração.....	40
Figura 18 - Conjunto de pipetadores automáticos.....	40
Figura 19 - Potenciômetro da marca Schott Instruments e modelo TitroLine easy e eletrodo combinado de vidro da marca Schott Instruments e modelo A7780.....	41
Figura 20 - Agitador orbital da marca Edmund Bühler e modelo SM25.....	42
Figura 21 - Ficha de resultado de análise de solo.....	45
Figura 22 - Gráfico da relação de H <sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 1 - Horizonte A e B.....	51
Figura 23 - Gráfico da relação de H <sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 2 - Horizonte A e B.....	52
Figura 24 - Gráfico da relação de H <sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 3 - Horizonte A e B.....	53
Figura 25 - Gráfico da relação de H <sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 4 - Horizonte A e B.....	54
Figura 26 - Gráfico da relação de H <sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 5 - Horizonte A e B.....	55
Figura 27 - Gráfico da relação de H <sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 6 - Horizonte A e B.....	56
Figura 28 - Gráfico da relação de H <sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 7 - Horizonte A e B.....	57
Figura 29 - Gráfico da relação de H <sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 8 - Horizonte A e B.....	58
Figura 30 - Gráfico da relação de H <sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 9 - Horizonte A e B.....	59

Figura 31 - Gráfico da relação de H <sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 10 - Horizonte A e B. ....	60
Figura 32 - Relação entre pH CaCl <sub>2</sub> e a acidez potencial (H + Al) em amostras de solo coletadas no Estado do Paraná. ....	62
Figura 33 - Relação entre pH CaCl <sub>2</sub> e o pH SMP em amostras de solo coletadas no Estado do Paraná. ....	62
Figura 34 - Relação entre pH CaCl <sub>2</sub> e o pH IPR/UEM em amostras de solo coletadas no Estado do Paraná. ....	63
Figura 35 - Relação entre pH SMP e a acidez potencial (H + Al) em amostras de solo coletadas no Estado do Paraná. ....	63
Figura 36 - Relação entre pH IPR/UEM e a acidez potencial (H + Al) em amostras de solo coletadas no Estado do Paraná. ....	64
Figura 37 - Relação entre pH SMP e o pH IPR/UEM em amostras de solo coletadas no Estado do Paraná. ....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Amostras dos solos, município, classificação, textura, rocha e altura ao nível do mar.....	35
Tabela 2 - Relação entre pH (SMP) e $H^+ + Al^{3+}$ .....	43
Tabela 3 - Valores obtidos das médias dos pHs em função da variação da percentagem de $CaCO_3$ (A = 0; B = 30; C = 60; D = 90; E = 120; F = 150 e G = 180).....	47
Tabela 4 - Valores do pH, da percentagem adicionada de $CaCO_3$ , g/kg de $CaCO_3$ por solo e cmolc/kg de OH adicionado no solo 1 - Horizonte A e B.....	51
Tabela 5 - Valores do pH, da percentagem adicionada de $CaCO_3$ , g/kg de $CaCO_3$ por solo e cmolc/kg de OH adicionado no solo 2 - Horizonte A e B....	52
Tabela 6 - Valores do pH, da percentagem adicionada de $CaCO_3$ , g/kg de $CaCO_3$ por solo e cmolc/kg de OH adicionado no solo 3 - Horizonte A e B.....	53
Tabela 7 - Valores do pH, da percentagem adicionada de $CaCO_3$ , g/kg de $CaCO_3$ por solo e cmolc/kg de OH adicionado no solo 4 - Horizonte A e B.....	54
Tabela 8 - Valores do pH, da percentagem adicionada de $CaCO_3$ , g/kg de $CaCO_3$ por solo e cmolc/kg de OH adicionado no solo 5 - Horizonte A e B.....	55
Tabela 9 - Valores do pH, da percentagem adicionada de $CaCO_3$ , g/kg de $CaCO_3$ por solo e cmolc/kg de OH adicionado no solo 6 - Horizonte A e B.....	56
Tabela 10 - Valores do pH, da percentagem adicionada de $CaCO_3$ , g/kg de $CaCO_3$ por solo e cmolc/kg de OH adicionado no solo 7 - Horizonte A e B.....	57
Tabela 11 - Valores do pH, da percentagem adicionada de $CaCO_3$ , g/kg de $CaCO_3$ por solo e cmolc/kg de OH adicionado no solo 8 - Horizonte A e B.....	58
Tabela 12 - Valores do pH, da percentagem adicionada de $CaCO_3$ , g/kg de $CaCO_3$ por solo e cmolc/kg de OH adicionado no solo 9 - Horizonte A e B.....	59
Tabela 13 - Valores do pH, da percentagem adicionada de $CaCO_3$ , g/kg de $CaCO_3$ por solo e cmolc/kg de OH adicionado no solo 10 - Horizonte A e B...	60



## LISTA DE SIGLAS

CTC	Capacidade de troca catiônica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
IDR-PARANÁ	Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná
IPR/UEM	Homenagem ao Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR e Universidade Estadual de Maringá
pH	Potencial Hidrogeniônico
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SMP	Schoemaker, McLean e Pratt
TFSA	Terra fina seca ao ar

## LISTA DE SÍMBOLOS / FÓRMULAS

Acetato de cálcio	$C_4H_6O_4Ca$
Ácido nítrico	$HNO_3$
Ácido sulfúrico	$H_2SO_4$
Água	$H_2O$
Alumínio	Al
Cálcio	Ca
Carbonato de cálcio	$CaCO_3$
Cloreto de cálcio	$CaCl_2$
Cloreto de potássio	KCl
Cobalto	Co
Cobre	Cu
Cromato de potássio	$K_2CrO_4$
Crômio hexavalente	$Cr^{6+}$
Dióxido de carbono	$CO_2$
Enxofre	S
Ferro	Fe
Fósforo	P
Hidrogênio	H
Hidróxido de sódio	NaOH
Imidazol	$C_3H_4N_2$
Lactato de cálcio	$C_6H_{10}CaO_6$
Magnésio	Mg
Manganês	Mn
MES (ácido 2-(N-morfolino) etanossulfônico	$C_6H_{13}NO_3S$
Molibdênio	Mo
Nitrogênio	N
<i>p</i> -nitrofenol	$C_6H_5NO_3$
Potássio	K
Sódio	Na
Zinco	Zn

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>14</b>
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
3.1 Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS).....	17
3.2 Acidez do solo .....	24
3.3 Acidez ativa .....	26
3.4 Acidez trocável .....	27
3.5 Acidez potencial .....	28
3.6 Acidez potencial: incubação com carbonato de cálcio (CaCO <sub>3</sub> ).....	29
3.7 Estimativa da acidez potencial pelo pH do solo em solução tamponada....	30
<b>4 OBJETIVOS</b> .....	<b>32</b>
4.1 Geral.....	32
4.2 Específicos .....	32
<b>5 PARTE EXPERIMENTAL</b> .....	<b>33</b>
5.1 Coleta da amostra no campo.....	35
5.2 Recepção e registro da amostra de solo .....	36
5.3 Preparo da amostra no laboratório .....	37
5.4 Análises laboratoriais .....	39
5.4.1 Determinação do pH em solução CaCl <sub>2</sub> 0,01 mol L <sup>-1</sup> .....	38
5.4.2 Determinação da acidez potencial (H + Al) com a solução tampão SMP.....	40
5.4.3 Determinação da acidez potencial pela incubação do solo com CaCO <sub>3</sub> .....	42
5.4.4 Determinação do pH IPR/UEM.....	43
5.5 Resultados das análises.....	45
5.6 Tratamento estatístico .....	46
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>47</b>
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	<b>66</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>68</b>
<b>ANEXO A – Classificação dos solos</b> .....	<b>71</b>
<b>ANEXO B - Curva de calibração do H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> pelo pH SMP</b> .....	<b>74</b>
<b>ANEXO C – Tabela das duplicatas</b> .....	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta grande diversidade de solos devido ao seu clima predominantemente tropical e à sua área continental. Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) há 13 grupos (ordens) de solos no país. Os solos brasileiros possuem diversas características que permitem o desenvolvimento de diferentes culturas e atividades (FINKLER, et al., 2018). No Estado do Paraná predominam os Latossolos, Argissolos, Cambissolos e Nitossolos (BHERING, et al., 2007).

O potencial de acidez ou alcalinidade do solo, expresso em potencial hidrogeniônico (pH), afeta a disponibilidade de substâncias e compostos químicos nos solos e é frequentemente considerado a principal variável para caracterizar o comportamento químico do solo (BRANDÃO, et al., 2021).

O pH do solo é representado pela atividade de íons hidrogênio, expressos em termos logarítmicos. Isso significa que uma unidade de mudança de pH do solo representa alteração de dez vezes do grau de acidez ou de alcalinidade do solo, influenciando na disponibilidade de nutrientes. O método para a determinação de pH é o potenciométrico, onde é adicionado água ou uma solução de cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) ao solo para medir o pH (FINKLER, et al., 2018).

O pH do solo pode afetar a quantidade de nutrientes e compostos químicos que são solúveis na solução do solo e, conseqüentemente, o crescimento e o desenvolvimento das plantas, principalmente devido à sua relação com outras propriedades do solo, incluindo disponibilidade de nutrientes, toxicidade elementar e atividade microbiana (BRANDÃO, et al., 2021).

É necessário mapear esse comportamento e para isso, utiliza-se os métodos de pH  $\text{CaCl}_2$ , um método para determinar a acidez ativa (NOVAIS, et al., 2007), enquanto o tampão Schoemaker, McLean e Pratt, conhecido como SMP e a titulação da solução com acetato de cálcio ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4\text{Ca}$ ) tamponado a pH 7,0 são as metodologias mais usadas para determinação da acidez potencial, sendo a primeira amplamente utilizada (TOLEDO, et al., 2012).

Já o procedimento H + Al pelo método de incubação do solo é uma estimativa para a determinação da acidez potencial e o pH IPR/UEM (IPR é uma homenagem que se

refere ao antigo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), atualmente conhecido como Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná e a Universidade Estadual de Maringá (UEM) é uma metodologia análoga ao tampão SMP (GIL, 2022).

O que difere o método pH SMP do método pH IPR/UEM é que o primeiro é uma metodologia muito utilizada nos laboratórios de análise de solos (TOLEDO, et al., 2012), porém utiliza reagentes tóxicos na solução tampão (*p*-nitrofenol e cromato de potássio). Já a metodologia do pH IPR/UEM é nova e não utiliza reagentes tóxicos, trazendo vantagens ambientais, econômicas e sociais, pois além da baixa toxicidade há um menor custo para o tratamento e descarte dos resíduos gerados (GIL, 2022)..

Sendo assim, esse trabalho tem como objetivo comparar a acidez em solos do estado do Paraná (Mamborê, Santa Tereza do Oeste, Pato Branco, Palmas, Guarapuava, Irati, Ponta Grossa, Astorga, Maringá e Londrina) após a incubação com  $\text{CaCO}_3$  e comparar as metodologias para a determinação do pH  $\text{CaCl}_2$ , pH SMP, H + Al e pH IPR/UEM. Para isso, foram coletadas 20 amostras de solo com estrutura não preservada para a realização desses procedimentos.

## 2 JUSTIFICATIVA

O potencial hidrogeniônico (pH) da solução do solo é um fator ambiental decisivo para o crescimento de todos os organismos que vivem no solo, incluindo plantas, animais e microrganismos. O pH influencia na disponibilidade de nutrientes essenciais às plantas, bem como elementos tóxicos, que de certa forma acaba afetando o ambiente em que vivemos, a correção do pH do solo é uma prática essencial na produção agrícola, visto que aumenta a produtividade de alimentos e é importante para a conservação e manejo sustentável do solo no mundo inteiro (BRADY; WEIL, 2013).

Em solos muito ácidos, a disponibilidade dos macronutrientes (Ca, Mg, K, P, N e S), bem como dos micronutrientes (Mo e B) é reduzida. Por outro lado, a disponibilidade dos cátions micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu e Co) é aumentada em condições de baixo pH, estendendo-se até mesmo à níveis tóxicos. Em solos moderadamente alcalinos, o molibdênio (Mo) e todos os macronutrientes (com exceção do fósforo) são bastante disponíveis, mas os níveis de disponibilidade de Fe, Mn, Zn, Cu e Co são baixos e podem comprometer o crescimento das plantas (BRADY; WEIL, 2013).

Vários autores citam as vantagens na determinação da acidez potencial pelo tampão SMP (Schoemaker, McLean e Pratt), como rapidez na determinação, estreita relação entre o pH de equilíbrio e a acidez potencial, baixa quantidade usada de reagente em comparação ao método do acetato de cálcio ( $C_4H_6O_4Ca$ ) (GIL, 2022).

No entanto, algumas desvantagens ao uso do tampão SMP na determinação da acidez potencial estão relacionadas à sua calibração e composição de alguns reagentes químicos no tampão, como o *p*-nitrofenol ( $C_6H_5NO_3$ ) e o cromato de potássio ( $K_2CrO_4$ ) (GIL, 2022).

O *p*-nitrofenol e o crômio hexavalente ( $Cr^{6+}$ ) presente no cromato de potássio, são consideradas substâncias perigosas e classificadas como resíduo perigoso de classe I, aqueles que apresentam características de periculosidade, como: tóxico, reativo, corrosivo, inflamável ou explosivo, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004 (NBR 10004) e os resíduos gerados devem ser tratados antes do descarte final (GIL, 2022).

O pH IPR/UEM é uma metodologia análoga ao tampão SMP, no entanto, sem o uso de reagentes tóxicos para a determinação da acidez potencial do solo (GIL, 2022).

Além de potenciais contaminantes do ambiente, esses reagentes podem causar problemas à saúde humana. O *p*-nitrofenol é nocivo se ingerido, inalado ou em contato com a pele, os sintomas são dor de cabeça, cansaço, vertigem, náusea, vômitos, metahemoglobinemia, cianose, queda da pressão arterial, colapso, respiração superficial, irregularidades cardíacas, convulsões, e pode provocar danos aos órgãos (rim e fígado) por exposição repetida ou prolongada (DINÂMICA, 2023).

O cromato de potássio pode provocar reações alérgicas, tosse, respiração superficial; o  $\text{Cr}^{6+}$  é altamente tóxico, pode ser absorvido pelos pulmões ou via gastrointestinal. Os cromatos e dicromatos, são fortes oxidantes e podem causar queimaduras e ulcerações na pele e nas mucosas assim como irritação nas vias respiratórias superiores. A inalação de compostos de  $\text{Cr}^{6+}$  tem claramente mostrado ser cancerígeno em experimentos com animais (MSDS, 2017b; GIL, 2022).

Reagentes tampão para substituir o *p*-nitrofenol e o cromato de potássio foram selecionados de acordo com características como: pKa, solubilidade em água, não complexante com cátions metálicos, não adsorção com a fase sólida do solo, não tóxico, não cancerígeno e estável em solução. Três tampões químicos foram selecionados na substituição: imidazol ( $\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2$ ), ácido 2-(N-morfolino etanossulfônico (MES) ( $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{NO}_3\text{S}$ ) e lactato de cálcio ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_6\text{Ca}$ ). Todos os três tampões químicos têm baixa ou nenhuma capacidade para complexar metais, pois não possuem múltiplos grupos de ácidos funcionais, tornando-os baixos em complexar Al, Fe, Mn e outros metais na solução do solo (GIL, 2022).

O pH IPR/UEM traz benefícios sociais, ambientais e econômicos nas diversas áreas de estudo, como:

- Uma metodologia limpa sem o uso de reagentes tóxicos que evita a contaminação dos técnicos laboratoristas, durante o processo analítico e também o meio ambiente sem os resíduos tóxicos gerados após análise de solo; menor custo para o tratamento e descarte dos resíduos gerados (GIL, 2022).

- A nova calibração para a estimativa da acidez potencial influencia na recomendação de calagem, pois, uma fração da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo é composta pela acidez potencial, e para a recomendação de calagem, no cálculo é usado o valor da CTC (GIL, 2022).
- Uso otimizado de calcário nas áreas agrícolas, quantidades corretas, melhor aproveitamento dos recursos financeiros gastos com o insumo, e melhor condição para desenvolvimento e produção das culturas agrícolas (GIL, 2022).



### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

O Brasil possui uma grande diversidade de solos em sua extensão continental, decorrente da ampla diversidade de fatores de formação do solo. Nas 13 classes de solos contidas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), constata-se a influência desses fatores através da grande variabilidade das características químicas, físicas e morfológicas (EMBRAPA, 2011).

#### 3.1 Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)

No mapa de solos do Estado do Paraná, identificou-se que mais de 15% da área, cerca de 30.000 ha, é ocupada por solos da ordem dos argissolos, enquanto oschernossolos, gleissolos, organossolos e espodossolos ocupam em conjunto aproximadamente 2% da área total do estado. Outras ordens de solo que ocupam expressiva área no estado são os cambissolos, que ocupam quase 21.000 ha; os neossolos, com cerca de 22% ou quase 45.000 ha e os nitossolos com cerca de 30.000 ha, ou cerca de 15% da área total. Todavia, a principal ocorrência de solos no Estado do Paraná é de Latossolos, que ocupam quase 62.000 ha de terras ou cerca de 31% da área total do estado (BHERING, et al., 2007).

No Estado do Paraná está localizado o Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná-IAPAR-Emater que foi criado pela Lei 20.121/19, a partir da incorporação do Instituto de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater), Companhia de Desenvolvimento Agropecuário do Paraná (Codapar) e Centro Paranaense de Referência de Agroecologia (CRPA) pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) (IDR-PARANÁ, 2023).

Tem como missão prestar serviço integrado de pesquisa e experimentação agrícola, de assistência técnica e extensão rural, de fomento no meio rural e de expansão da base da agroecologia para a produção de alimentos de alta qualidade de forma ágil e eficiente. As sedes administrativas são em Curitiba e Londrina. E os polos de pesquisa e inovação são em Curitiba, Londrina, Paranavaí, Pato Branco, Ponta Grossa e Santa Tereza do Oeste (IDR-PARANÁ, 2023). A Figura 1 mostra a localização das sedes administrativas e dos polos de

inovação do IDR-Paraná.

Figura 1 - Mapa das sedes administrativas e polos de inovação do IDR-PARANÁ.



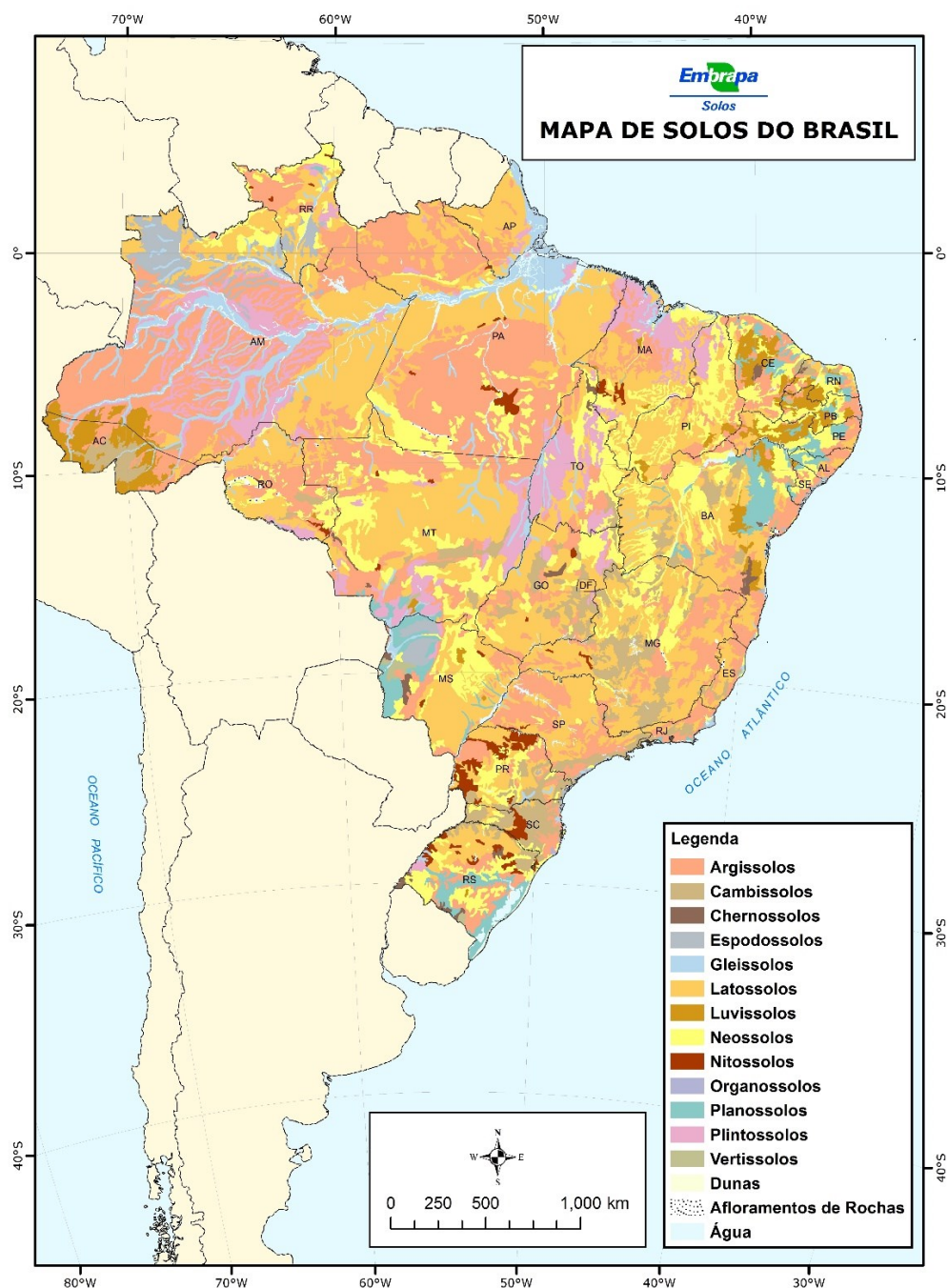
Fonte: IDR-PARANÁ, 2023.

É possível solicitar análises de solos e de tecido vegetal, que ajudam o engenheiro agrônomo a tomar decisões no campo, são alguns serviços ofertados pelo Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR), no laboratório de sua sede, em Londrina. Há dois tipos de análise de solo: química e física. Na área química, são determinados pH, alumínio (Al), hidrogênio + alumínio (H + Al), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e matéria orgânica (MO). O diagnóstico indica a aplicação de calcário e fertilizantes no solo. A análise física avalia os teores de nitrogênio (N), fósforo, cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), zinco (Zn), boro (B) e manganês (Mn) em raízes, caules e folhas, e possibilita conhecer o estado nutricional das plantas. É diagnóstico fundamental para definir uso de tecnologias e práticas de manejo de lavouras (IDR- PARANÁ, 2023).

No território nacional predominam os Latossolos, Argissolos e Neossolos, que no conjunto se distribuem em aproximadamente 70%. As classes Latossolos e Argissolos ocupam aproximadamente 58% da área e são solos profundos, altamente intemperizados, ácidos, de baixa fertilidade natural e, em certos casos, com alta saturação por alumínio. Também ocorrem solos de média a alta fertilidade, em geral pouco profundos em decorrência de seu baixo

grau de intemperismo. Estes se enquadram principalmente nas classes dos Neossolos, Luvisolos, Planossolos, Nitossolos, Chernossolos e Cambissolos (EMBRAPA, 2011). A Figura 2 apresenta o mapa de solo do Brasil e a distribuição dos tipos de solos.

Figura 2 - Mapa de solos do Brasil.



Fonte: EMBRAPA, 2020.

Os principais tipos de solos, como argissolos (Figura 3), cambissolos (Figura 4), latossolos (Figura 5) e nitossolos (Figura 6) e os demais encontram-se no Anexo A.

- Argissolos: são de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas e mais raramente brunadas ou acinzentadas. São de forte a moderadamente ácidos, com saturação por bases alta ou baixa, predominantemente caulíníticos e com relação molecular  $K_1$ , em geral, variando de 1,0 a 3,3 (SANTOS, et al., 2013).

Figura 3 - Perfil do argissolo vermelho (Tarauacá-AC).



Fonte: SANTOS, et al., 2013

- Cambissolos: devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características destes solos variam muito de um local para outro. Assim, a classe comporta desde solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor bruna ou bruno-amarelada até vermelho-escura, de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração

argila (SANTOS, et al., 2013).

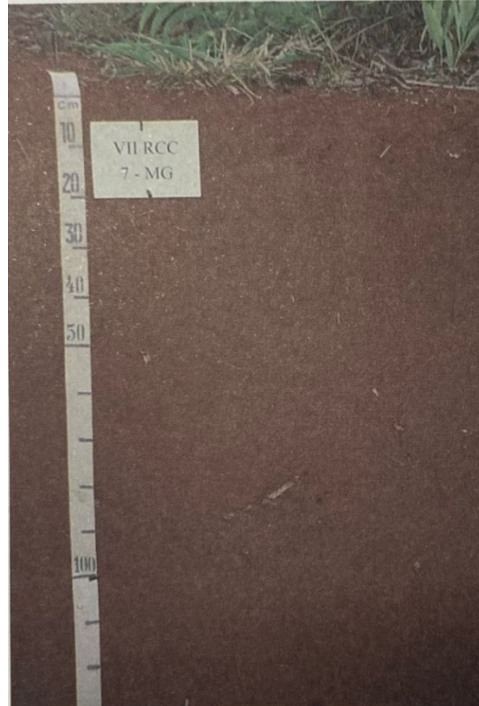
Figura 4 - Perfil de cambissolo háplico (Arraial do Cabo-RJ).



Fonte: SANTOS, et al., 2013.

- Latossolos: são, em geral, solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases. Ocorrem, todavia, solos com saturação por bases média e até mesmo alta. Esses últimos são encontrados geralmente em zonas (semiáridas ou não) que apresentam estação seca pronunciada, ou ainda que apresentam influência de rochas básicas ou calcárias. Esses solos são típicos das regiões equatoriais e tropicais, ocorrendo também em zonas subtropicais, distribuídos, sobretudo, por amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos, normalmente em relevo plano e suave ondulado, embora possam ocorrer em áreas mais acidentadas, inclusive em relevo montanhoso. São originados a partir das mais diversas espécies de rochas e sedimentos sob condições de clima e tipos de vegetação os mais diversos (SANTOS, et al., 2013).

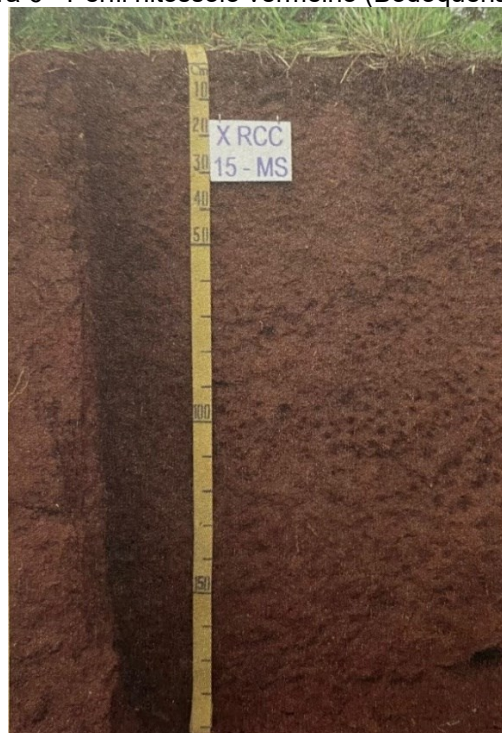
Figura 5 - Perfil latossolo vermelho (Lagoa Formosa-MG).



Fonte: SANTOS, et al., 2013.

- Nitossolos: são, em geral, de moderadamente ácidos a ácidos, com argila de atividade baixa ou caráter alítico, com composição caulínico-oxídica (SANTOS, et al., 2013).

Figura 6 - Perfil nitossolo vermelho (Bodoquena-MS).

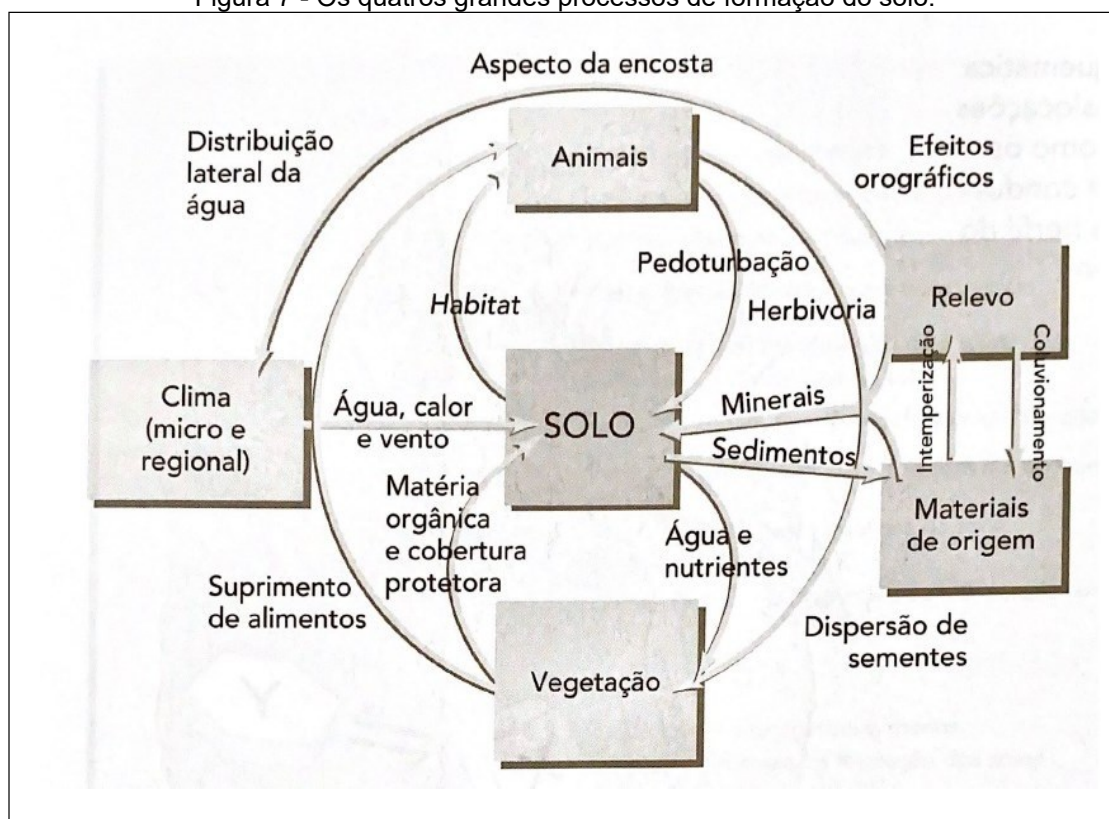


Fonte: SANTOS, et al., 2013.

O acúmulo de regolito a partir da fragmentação e decomposição da rocha ou da deposição (pelo vento, água, gelo, etc.) de materiais geológicos não consolidados pode preceder ou, mais comumente, ocorrer ao mesmo tempo que o desenvolvimento dos característicos horizontes de um perfil do solo. Durante a formação (gênese) de um solo, a partir de um material de origem, o regolito passa por muitas mudanças profundas causadas por quatro processos de formação do solo (Figura 7) (BRADY; WEIL, 2013).

O pH natural do solo pode estar relacionado com as características da rocha a partir da qual o solo foi formado e com os processos de intemperismo que atuam sobre ele, como, por exemplo, o clima, a vegetação e a topografia. Esses processos tendem a causar uma diminuição do pH (aumento da acidez) ao longo do tempo (BRANDÃO, et al., 2021).

Figura 7 - Os quatro grandes processos de formação do solo.



Fonte: BRADY; WEIL, 2013.

Por estar situado na região tropical e subtropical, o Brasil possui extensa área de solos ácidos, não adequados para o estabelecimento de culturas

comerciais. Os vários tipos de vegetação naturais, como campos nativos, cerrados e florestas tropicais e subtropicais, sofreram longo processo de adaptação, ocasião em que o acúmulo de resíduos orgânicos e as ciclagens de nutrientes permitiram o crescimento das plantas em ritmo compatível com a acidez elevada dos solos (MELO; ALLENONI,2009).

Os solos, em suas condições naturais, podem ser ácidos, em decorrência do material de origem e da intensidade da ação de agentes de intemperismo, como clima e organismos. Regiões com altas precipitações pluviais apresentam tendência à maior acidificação do solo pela remoção de cátions de caráter básico do complexo de troca, como Ca, Mg, K e Na, e o conseqüente acúmulo de cátions de natureza ácida, como Al e H (NOVAIS, et al., 2007).

### 3.2 Acidez do solo

Do ponto de vista químico, um solo é considerado ácido quando o seu pH está abaixo de 7,0. Nele, a relação de equilíbrio ácido-base tem comportamento semelhante à um ácido fraco, cujo potencial de reposição de  $H^+$  para solução é muito superior à sua atividade nessa solução (NOVAIS, et al., 2007). A Figura 8 apresenta as categorias de acidez e alcalinidade em escala de pH.

Figura 8 - Categoria de acidez e alcalinidade (em escala de pH) dos solos.

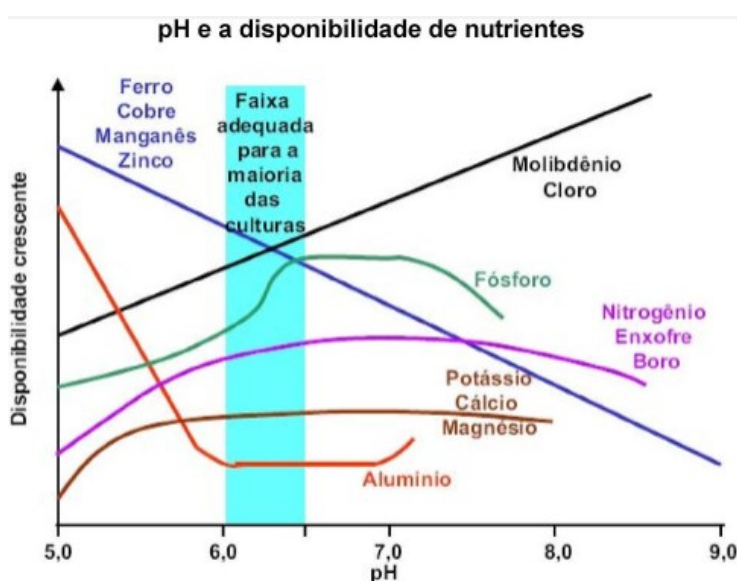


Fonte: BRANDÃO, et al., 2021.



O grau de acidez ou de alcalinidade do solo, representado pelo seu pH, é uma importante variável que afeta uma ampla gama de propriedades químicas e biológicas do solo. Essa variável química influencia bastante a disponibilidade de muitos elementos que devem ser absorvidos pelas raízes, sejam eles nutrientes ou tóxicos (Figura 9). Para quem quer cultivar lavoura ou plantas ornamentais, o pH do solo é o principal fator que determina quais espécies terão um bom desenvolvimento e mostrarão toda sua potencialidade de produção em um dado local (BRADY; WEIL, 2013).

Figura 9 - Grau de disponibilidade crescente em função do pH.



Fonte: PORTAL AGRICONLINE, 2023.

A oxidação biológica de compostos orgânicos produz  $\text{CO}_2$ , o qual reage com água para formar ácido carbônico, que se dissocia liberando prótons ( $\text{H}^+$ ), de acordo com a Equação 1 (NOVAIS, et al., 2007):



Os solos florestais são comumente destacados como solos mais ácidos. Além disso, uma observação interessante é que solos com valores de pH acima de 8,0 (alcalinos) apresentam deficiência de nutrientes essenciais às plantas, provavelmente em virtude do aumento da insolubilidade de tais espécies químicas nessa condição de basicidade (BRANDÃO, et al., 2021).

Ainda é possível realizar a classificação química por meio da análise de

pH. A Figura 10, apresenta a classificação química, bem como a classificação agrônômica do pH no solo. O pH varia ao longo do tempo, alterando seu valor conforme o manejo do solo, os cultivos sucessivos e as adubações (FINKLER, et al., 2018).

Figura 10 - Classificação química e agrônômica de pH.

<b>Classificação química</b>						
<b>Acidez muito elevada</b>	<b>Acidez elevada</b>	<b>Acidez média</b>	<b>Acidez fraca</b>	<b>Neutra</b>	<b>Alcali-nidade fraca</b>	<b>Alcali-nidade elevada</b>
< 4,5	4,5 – 5,0	5,1 – 6,0	6,1 – 6,9	7,0	7,1 – 7,8	> 7,8
<b>Classificação agrônômica</b>						
<b>Muito baixo</b>	<b>Baixo</b>		<b>Bom</b>	<b>Alto</b>		<b>Muito alto</b>
< 4,5	4,5 – 5,4		5,5 – 6,0	6,1 – 7,0		> 7,0

Fonte: FINKLER, et al., 2018.

### 3.3 Acidez ativa

A acidez ativa do solo é uma medida útil da acidez ou basicidade relativa do solo. Por exemplo, soluções de solo com medição de pH inferior a 5,5 são consideradas fortemente ácidas. A acidez ativa é extremamente importante, pois determina a solubilidade de muitas substâncias e fornece o ambiente de solução do solo ao qual as raízes e os microrganismos estão expostos. Os solos muito ácidos contêm íons alumínio em solução, o que pode aumentar a acidez ativa à medida que estes hidrolisam (BRANDÃO, et al., 2021).

A acidez ativa é considerada a atividade de  $H^+$  na solução do solo e é expressa pelo índice de pH. O pH varia ao longo do tempo, alterando seu valor conforme o manejo do solo, cultivos sucessivos e adubações. As plantas, ao absorverem nutrientes de carga positiva ( $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  etc.), liberam  $H^+$  das raízes para a solução do solo, o que reduz o pH (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013).

Assim, para análises em laboratório, a medição de pH é feita utilizando-

se mistura de terra fina seca ao ar com água ou solução salina, a fim de estabelecer um equilíbrio entre as fases, que ocorre após alguns minutos. Mede-se, em geral, por método potenciométrico a atividade de  $H^+$  em equilíbrio (MELO; ALLENONI, 2009). Os métodos potenciométricos mais comuns são:

Determinação do pH em suspensão do solo com água, na relação solo:água de 1:1 ou 1:2,5;

Determinação do pH em suspensão do solo com  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$  –  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , na relação solo: solução de 1:1 ou 1:2,5 (NOVAIS, et al., 2007).

Os valores de pH em água apresentam maior variabilidade entre as repetições, porém a adição do eletrólito (KCl ou  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ ) pode diminuir a variabilidade. A concentração do KCl fica muito alta, mas a do  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$  é próxima à concentração da solução do solo em condições de campo (NOVAIS, et al., 2007).

### 3.4 Acidez trocável

A acidez trocável refere-se aos íons  $H^+$  e  $Al^{3+}$  que estão retidos na superfície dos coloides por forças eletrostáticas (TEIXEIRA, et al., 2017).

Acidez trocável é responsável pela capacidade imediata de tamponamento do solo e é útil para determinar a quantidade de calcário necessária para aumentar o pH do solo. Esse tipo de acidez está associada principalmente aos íons alumínio e hidrogênio trocáveis que estão presentes em grandes quantidades em solos muito ácidos (BRANDÃO, et al., 2021).

Para determinar a acidez trocável, utiliza-se, como extrator, a solução de KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , pH = 5,5, pelo excesso de  $K^+$ , extrai por troca,  $H^+$  e  $Al^{3+}$  retidos nas micelas por forças eletrovalentes. Como muitos solos o teor de  $H^+$  trocável é muito pequeno (o mesmo acontece com a acidez da hidrólise de outros cátions de reação ácida), considera-se o resultado de acidez trocável como sendo o teor de Al trocável ( $Al^{3+}$ ). Entretanto, em solos muito ácidos ou com altos teores de matéria orgânica, o teor de  $H^+$  pode ser, até mesmo, maior que o de  $Al^{3+}$  (NOVAIS, et al., 2007).

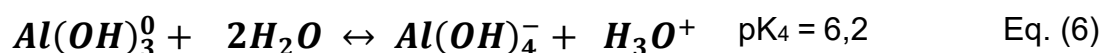
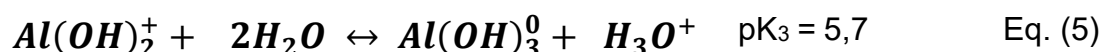
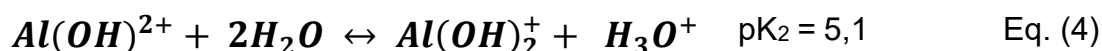
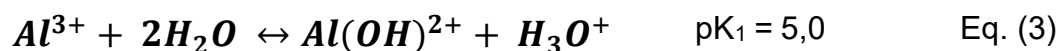
Com valores de pH de 4 a 5, o alumínio trocável trivalente ( $Al^{3+}$ ) está presente nos solos, a menos que estes sejam bastante ricos em matéria

orgânica, nessa condição o pH do solo é dominado pela reação de hidrólise (Equação 2) (BRANDÃO, et al., 2021):



Assim haverá a liberação do íon hidrogênio, responsável pelo aumento da acidez do solo (BRANDÃO, et al., 2021).

O  $Al^{3+}$  na solução do solo sofre hidrólise, gerando acidez, conforme mostram as reações a seguir (NOVAIS, et al., 2007):



A  $H_2O$  de acordo com o conceito de ácido-base de Brønsted-Lowry, funciona como base (receptor de prótons). As formas hidrolisadas de  $Al^{3+}$  (bases conjugadas) têm menor capacidade receptora de prótons do que a água; com isto, o processo de hidrólise evolui com o aumento do pH, até que todo o  $Al^{3+}$  seja hidrolisado (NOVAIS, et al., 2007).

### 3.5 Acidez potencial

A acidez potencial é caracterizada pela soma da acidez trocável com a acidez não trocável que corresponde àquela acidez neutralizada até um determinado valor de pH. A acidez não trocável é representada pelo hidrogênio de ligação covalente, associado aos coloides com carga negativa variável. A acidez potencial caracteriza o poder tampão de acidez do solo e sua estimativa acurada é fundamental para se estimar a capacidade de troca catiônica (CTC) a pH 7,0 (TEIXEIRA, et al., 2017).

A acidez potencial é estimada a partir da solução tampão SMP, após

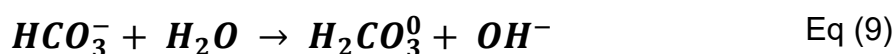
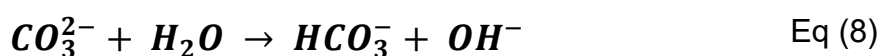
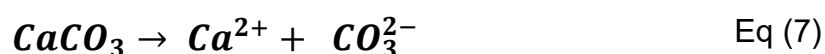
determinação do pH em  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>, método que se caracteriza pela sua simplicidade e rapidez, associado ao baixo custo e elevada eficiência (KURIHARA, et al., 2013).

É composta pela acidez trocável e não-trocável: na determinação da acidez potencial (H + Al), acidez extraída com o uso da solução de acetato de cálcio ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4\text{Ca}$ ) 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7,0, são extraídas a acidez ativa, a acidez trocável e a acidez não trocável ou acidez dependente de pH (NOVAIS, et al., 2007).

A acidez potencial é representada por H + Al, com o H, em seu estado não ionizado. Essa condição também é importante para diferenciá-lo do H<sup>+</sup> trocável, extraído pelo cloreto de potássio (KCl). O Al também sem carga indica formas hidrolisadas de Al, do trocável e de polímeros. A acidez potencial pode ser estimada por meio potenciométrico usando a solução tampão SMP (Schoemaker, McLean e Pratt) (NOVAIS, et al., 2007).

### 3.6 Acidez potencial: incubação com carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ )

Este método real para determinar a acidez potencial, deve ser utilizado em solos com características representativas da região, aplicando-se doses crescentes de  $\text{CaCO}_3$ . Assim, amostras devidamente umedecidas dos diferentes solos são incubadas pelo tempo necessário para a completa reação do carbonato com as fontes de acidez do solo. Com a determinação do pH da solução do solo e as doses de carbonato, foram elaboradas curvas de neutralização, em que a acidez potencial foram determinada pela quantidade de hidroxila liberada na hidrólise (Equações 7, 8 e 9) necessária para elevar o pH do solo a 7,0. Assim, pode-se, pelas curvas de calibração, determinar a dosagem de  $\text{CaCO}_3$  necessária para atingir o critério de tomada de decisão de calagem no solo desejado (NOLLA; ANGHINONI, 2004).



O método de incubação com  $\text{CaCO}_3$  também pode ser utilizado na recomendação da dosagem de calcário necessária para atingir os valores referenciais dos índices de acidez. Em função de sua precisão é muito importante para acalibração de outros métodos mais práticos, sendo caracterizado como método padrão. Não é utilizado como rotina em laboratórios de análise de solo, devido à grande demanda de mão-de-obra e tempo (pouca praticidade) (NOLLA; ANGHINONI, 2004).

### 3.7 Estimativa da acidez potencial pelo pH do solo em solução tamponada

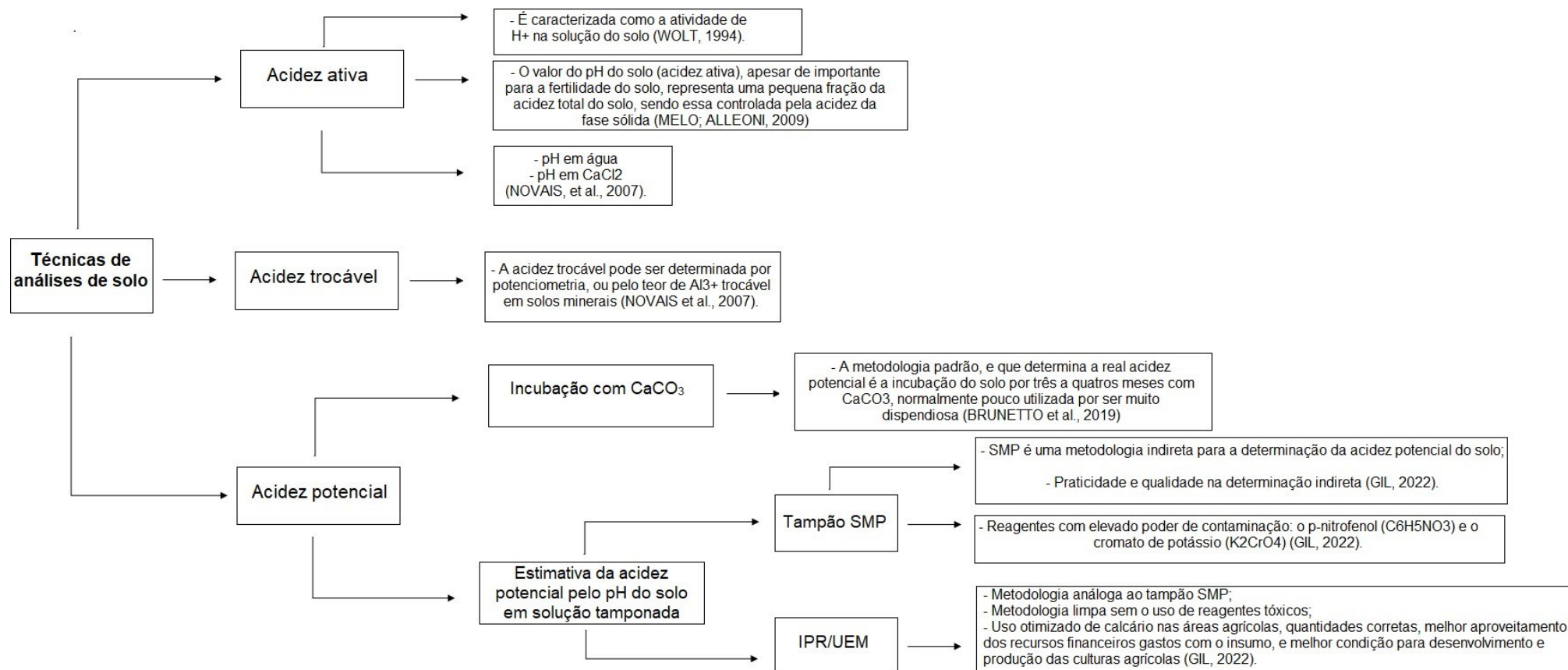
No Brasil, o tampão SMP vem sendo utilizado desde a década de 1960 como principal método para estimativa da acidez potencial e necessidade de calcário do solo. Embora regionalmente tenha sofrido adaptações com relação ao procedimento ou as concentrações de seus componentes, suas características de simplicidade e praticidade analítica o tornam um método de fácil reprodução e, por isso, amplamente utilizado pelos laboratórios de análise de solos (TOLEDO, et al., 2012).

No tampão SMP há a presença de duas substâncias tóxicas em sua composição: *p*-nitrofenol e o íon cromato ( $\text{CrO}_4$ )<sup>2-</sup> (KAMINSKI, et al., 2007) e são capazes de ocasionar o desenvolvimento de neoplasias e metahemoglobinemia em seus manipuladores, como consequência da exposição continuada. Nesse sentido, além de implicar uma condição de insalubridade, o uso do tampão SMP inevitavelmente gera resíduos perigosos (TOLEDO, et al., 2012).

O pH IPR/UEM é uma metodologia análoga ao tampão SMP que não utiliza reagentes tóxicos para a determinação da acidez potencial do solo. Os três tampões químicos selecionados na substituição do *p*-nitrofenol e cromato de potássio foram: imidazol ( $\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2$ ), MES ( $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{NO}_4\text{S}$ ) (ácido 2-(N-morfolino) etanosulfônico) e lactato de cálcio ( $\text{C}_3\text{H}_{10}\text{CaO}_6$ ) (GIL, 2022).

A Figura 11 apresenta um resumo das técnicas de análises de solo citadas acima.

Figura 11 - Resumo das análises de solo.



Fonte: Autora, 2023.

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 Geral

Avaliar a acidez de solos em cidades do estado do Paraná após a incubação com  $\text{CaCO}_3$ .

### 4.2 Específicos

- Avaliar os dados experimentais obtidos do trabalho de doutorado intitulado “Desenvolvimento, análise e calibração de uma nova metodologia da acidez potencial nos sistemas produtivos atuais e sua interação com os principais atributos dos solos do Estado do Paraná”, de autoria de Luciano Grillo Gil, desenvolvido no ano de 2022.

- Comparar métodos indiretos na determinação da acidez potencial do solo como solução SMP e IPR/UEM;

- Determinar o pH da solução tampão e do solo após a incubação com  $\text{CaCO}_3$ .

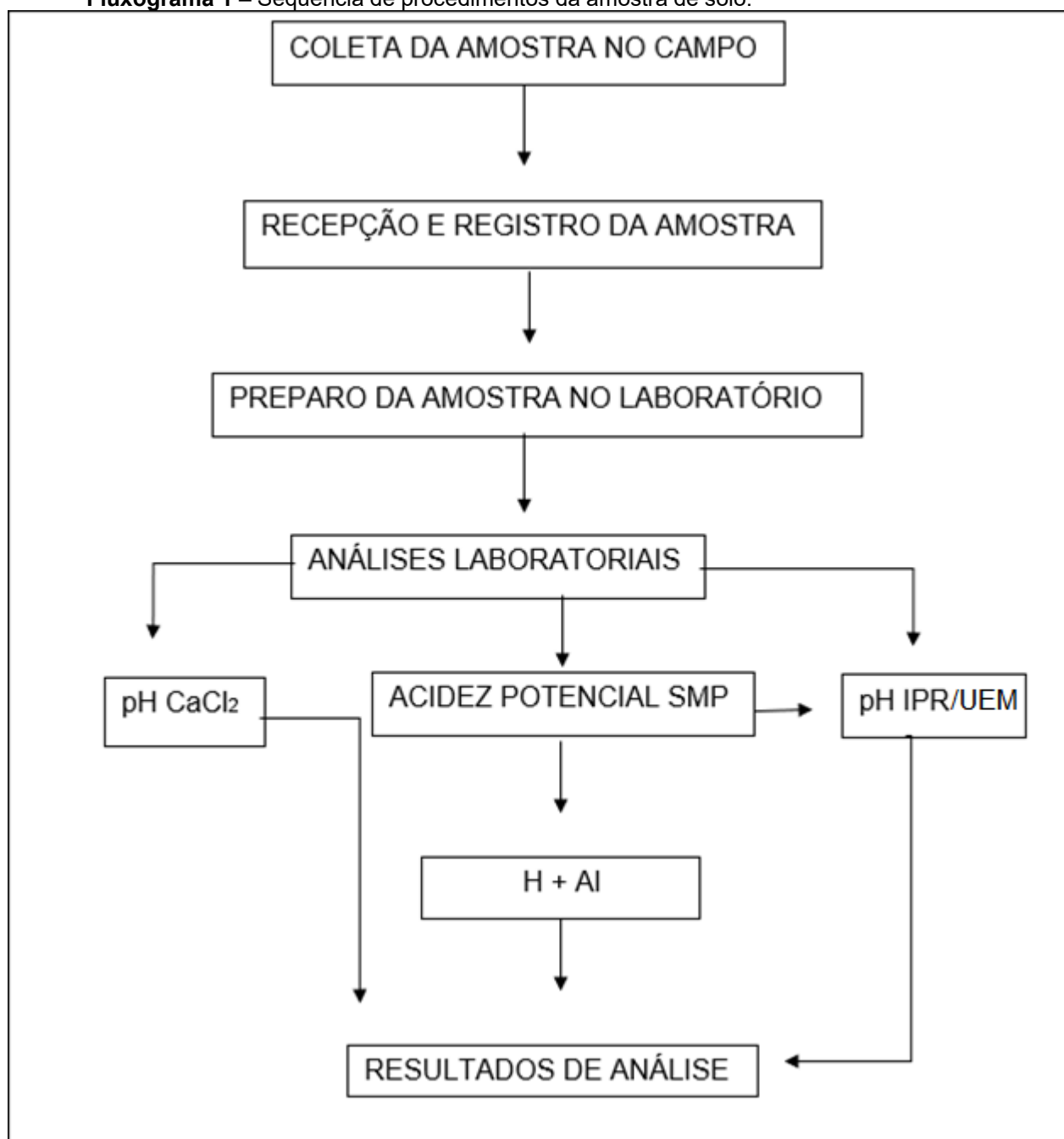


## 5 PARTE EXPERIMENTAL

O trabalho foi uma continuação de uma parte específica do doutorado do autor Luciano Grillo Gil, 2022.

Os itens 5.1, 5.1.4 e 5.4.3 foram realizados pelo autor da tese de doutorado intitulada “Desenvolvimento, análise e calibração de uma nova metodologia da acidez potencial nos sistemas produtivos atuais e sua interação com os principais atributos dos solos do Estado do Paraná” e os dados obtidos foram usados como parâmetro comparativo para as análises dos itens 5.4.2 e 5.4.4 que foram realizados pela autora do Trabalho de Conclusão de Curso.

O procedimento para a análise química do solo no laboratório constituiu-se de uma série de operações que está apresentado no Fluxograma 1:

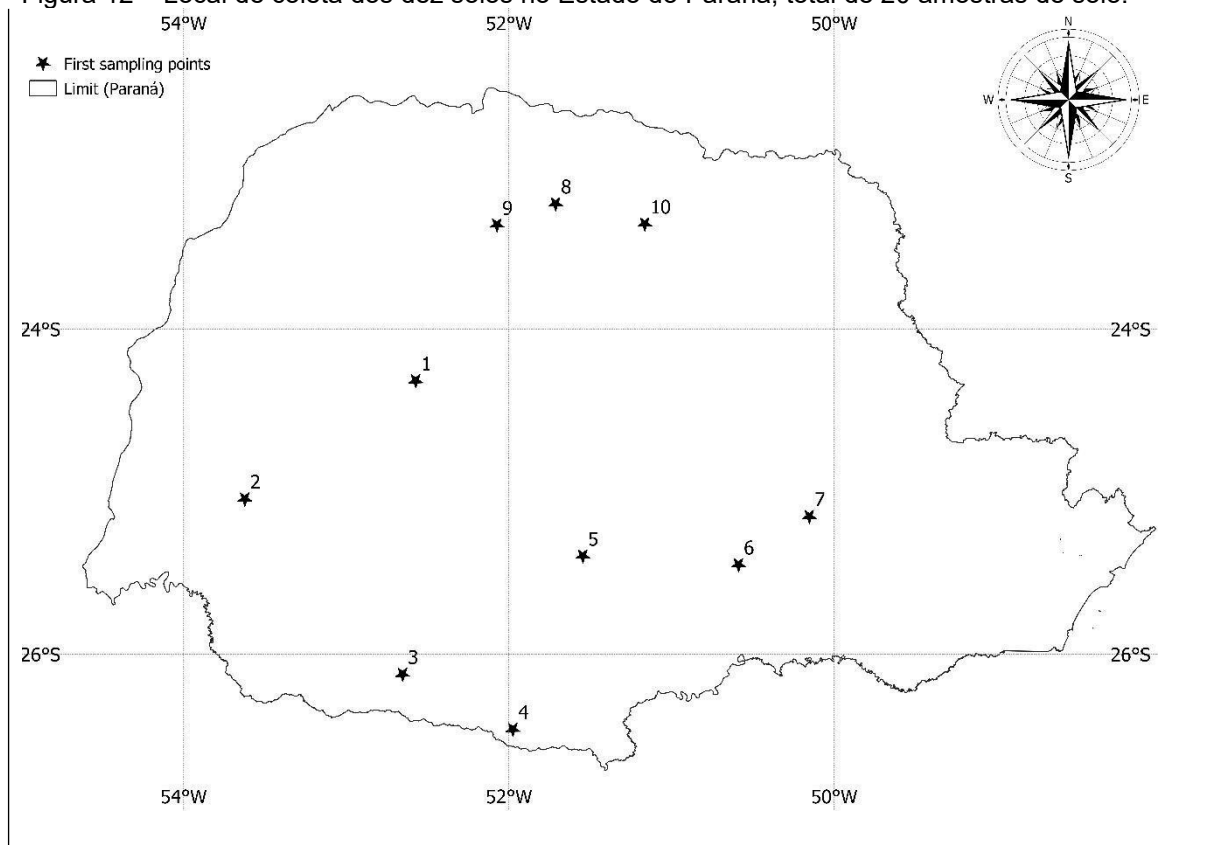
**Fluxograma 1** – Sequência de procedimentos da amostra de solo.

Fonte: Adaptado de PAVAN, et al., 1992.

## 5.1 Coleta da amostra no campo

Foram coletadas amostras de dez solos no estado do Paraná (Figura 12), solos esse com elevada acidez, oriundos de áreas nativas (mata ou campo) e que sofreram o mínimo de atividades antrópicas (GIL, 2022).

Figura 12 – Local de coleta dos dez solos no Estado do Paraná, total de 20 amostras de solo.



Fonte: GIL, 2022.

Para cada solo foi aberta uma pequena trincheira para identificação dos horizontes superficial “A” e diagnóstico “B” (Tabela 1). Com o auxílio de um Sistema de Posicionamento Global (GPS) portátil (marca Gramin, modelo Etrex 10) foi coletado a latitude, longitude e altitude em relação ao nível do mar. No total, foram coletadas 20 amostras de solo com estrutura não preservada, devidamente identificadas (GIL, 2022).

Os procedimentos abaixo relacionados foram apresentados conforme as metodologias descritas em PAVAN, et al. (1992).

Tabela 1 – Município, amostras dos solos, classificação, textura, rocha e altura ao nível do mar.

<b>Município<sup>1</sup></b>	<b>Amostras do solo</b>	<b>Classificação do solo<sup>2</sup></b>	<b>Textura</b>	<b>Rocha</b>	<b>Nível<sup>3</sup> (m)</b>
Mamborê	<b>Solo 1</b>	LATOSSOLO	Argila	Basalto	728
Santa Tereza do Oeste	<b>Solo 2</b>	LATOSSOLO	Argila	Basalto	749
Pato Branco	<b>Solo 3</b>	CAMBISSOLO	Argila	Basalto	706
Palmas	<b>Solo 4</b>	CAMBISSOLO	Argila	Basalto	1085
Guarapuava	<b>Solo 5</b>	LATOSSOLO	Argila	Basalto	1037
Irati	<b>Solo 6</b>	CAMBISSOLO	Argila arenosa	Arenito	877
Ponta Grossa	<b>Solo 7</b>	LATOSSOLO	Argila	Argilosa	880
Astorga	<b>Solo 8</b>	LATOSSOLO	Barro arenoso	Arenito	650
Maringá	<b>Solo 9</b>	LATOSSOLO	Barro arenoso	Arenito	584
Londrina	<b>Solo 10</b>	LATOSSOLO	Argila	Basalto	582

(1) Municípios onde os solos foram coletados. (2) De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS, et al., 2018). (3) Altitude acima do nível do mar, em metros.

Fonte: GIL, 2022.

## 5.2 Recepção e registro da amostra de solo

As amostras de solo foram encaminhadas para a sala de recepção do IDR-PARANÁ (Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná) as quais foram identificadas (nomes do proprietário, da propriedade e do município, data e informações sobre a amostra, tais como: gleba, talhão, profundidade, etc.) e numeradas (número do laboratório) (Figura 13).

Figura 13 - Folha de registro de entrada de amostras para análise de solo utilizada no IDR-PARANÁ.

Fonte: IDR- PARANÁ, 2022.

### 5.3 Preparo da amostra no laboratório

Na sala de preparo, as amostras foram transferidas para caixas pré-montadas de papelão, com dimensões de 7,0 cm x 7,0 cm x 8,5 cm, contendo o número de registro e o ano (Figura 14). As caixas com as tampas abertas, foram acondicionadas em bandejas de metal e colocadas em estufa para secagem à 60°C por um período de 24 a 48 h.

Figura 14 - Caixa para amostra de solo, bandeja de madeira para 30 amostras.



Fonte: Autora, 2023.

Os solos secos foram triturados em moinho tipo martelo, passados em peneira de 2 mm de diâmetro para remover os torrões, gravetos e outras

impurezas presentes na amostra e recolocados nas mesmas caixas de papelão. Os solos secos moídos foram denominados “terra fina seca ao ar” (TFSA).

As caixas contendo a TFSA foram colocadas em ordem numérica de registro em pequenas bandejas de papelão, contendo 10 amostras cada e acondicionadas em outra bandeja de madeira de 30,0 cm x 77,0 cm com capacidade para 30 amostras (3 fileiras com 10 amostras cada). A seguir as amostras foram transferidas para a sala de extração.

Para cada amostra, uma certa quantidade de solo foi transferida para frascos de extração utilizando-se cachimbos volumétricos (Figura 15). Para cada a determinação do pH utiliza-se o cachimbo com capacidade de 8,0 g.

Figura 15 – Cachimbo volumétrico para amostra de solo.



**Fonte:** Autora, 2023.

As bandejas contendo as amostras de solo com a solução extratora foram colocadas em um agitador mecânico da marca Inova (Figura 16). O equipamento tem capacidade para agitar 4 bandejas ao mesmo tempo. Após a agitação, as bandejas foram colocadas em carrinhos e transferidas para a sala de determinações analíticas.

Figura 16 – Agitador mecânico da marca Inova para amostra de solo.



Fonte: Autora, 2023.

#### 5.4 Análises laboratoriais

Foram feitas quatro metodologias para a determinação do pH:

- pH CaCl<sub>2</sub>,
- pH SMP,
- H + Al pelo método de incubação do solo,
- pH IPR/UEM.

A seguir foram descritos seus respectivos procedimentos.

##### 5.4.1 Determinação do pH em solução CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>

O método estimou a atividade do íon H<sup>+</sup> na suspensão do solo utilizando-se a solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>.

O preparo do cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>) 0,01 mol L<sup>-1</sup> foi realizado da seguinte forma: foram dissolvidos 1,47 g de CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O em água destilada e seu volume completado para 1 L.

Foram transferidos 8,0 g de TFSA para um copo plástico de 6,5 cm x 4,0 cm, com capacidade de 60 mL (Figura 17) e em seguida, foram adicionados 20 mL da solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> com o auxílio do conjunto de pipetadores automáticos (Figura 18). Em seguida, essa solução permaneceu sob agitação magnética constante durante 15 min a 250 rpm e efetuou a leitura do pH no potenciômetro após 30 min.

Figura 17 - Frascos de extração.



Fonte: Autora, 2023.

Figura 18 - Conjunto de pipetadores automáticos.



Fonte: Autora, 2023.

O potenciômetro da marca Schott Instruments e modelo TitroLine easy (Figura19) foi calibrado com as soluções tampão pH 7,0 e pH 4,0, após 20 min de aquecimento. O eletrodo combinado de vidro da marca Schott Instruments e modelo A7780, deverá ser sempre acondicionado na solução de KCl 3 N.



Figura 19 - Potenciômetro da marca Schott Instruments e modelo TitroLine easy e eletrodo combinado de vidro da marca Schott Instruments e modelo A7780.



Fonte: Autora, 2023.

#### 5.4.2 Determinação da acidez potencial (H + Al) com a solução tampão SMP

##### Solução tampão SMP

Para o preparo da solução tampão foi necessário transferir 106,2 g de  $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 6,0 g de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ , 4,0 g de acetato de cálcio ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4\text{Ca}$ ) e 5,0 mL de trietanolamina, que foram dissolvidos em 700 mL de água. Em seguida, dissolveu-se 3,6 g de *p*-nitrofenol em cerca de 200 mL de água (previamente aquecida). Após a dissolução, foram misturadas as duas soluções e o seu volume foi completado com água destilada para um volume final de 1000 mL. A solução permaneceu em repouso por um dia e seu pH foi ajustado para 7,5 com hidróxido de sódio (NaOH).

Após essa etapa, foram adicionados 4 mL da solução tampão SMP em copo plástico contendo a amostra de solo utilizada para determinação do pH em  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>. A solução foi mantida sob agitação magnética constante em um agitador orbital por 20 min a 220 rpm (da marca Edmund Bühler e modelo SM25) (Figura 20) e deixado em repouso por 30 min, posteriormente foi efetuada a leitura do pH com potenciômetro.

Figura 20 - Agitador orbital da marca Edmund Bühler e modelo SM25.



Fonte: Autora, 2023.

Conforme Pavan, 1996, a equação de regressão (Equação 10) apresentou melhor ajuste para explicar a relação entre o pH SMP e as concentrações de H + Al.

$$\ln (H^{+} + Al^{3+}) = 6,0687 - 0,7444 * pH_{SMP} \quad \text{Eq. (10)}$$

A Tabela 2 apresenta os valores para conversão do pH SMP para H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>. O gráfico e a equação de regressão que apresenta a relação entre o pH SMP e as concentrações de H + Al extraível em C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>4</sub>Ca (acetato de cálcio) pH 7,0 encontra-se no Anexo B.

Tabela 2 - Relação entre pH (SMP) e  $H^+ + Al^{3+}$ .

pH SMP	$H^+ + Al^{3+}$	pH SMP	$H^+ + Al^{3+}$
3,5	31,92	5,8	5,76
3,6	29,63	5,9	5,35
3,7	27,50	6,0	4,96
3,8	25,53	6,1	4,61
3,9	23,70	6,2	4,28
4,0	22,00	6,3	3,97
4,1	20,42	6,4	3,68
4,2	18,96	6,5	3,42
4,3	17,60	6,6	3,18
4,4	16,33	6,7	2,95
4,5	15,16	6,8	2,74
4,6	14,08	6,9	2,54
4,7	13,06	7,0	2,36
4,8	12,13	7,1	2,19
4,9	11,26	7,2	2,03
5,0	10,45	7,3	1,89
5,1	9,70	7,4	1,75
5,2	9,00	7,5	1,62
5,3	8,36	7,6	1,51
5,4	7,76	7,7	1,40
5,5	7,20	7,8	1,30
5,6	6,69	7,9	1,21
5,7	6,21	8,0	1,12

Fonte: PAVAN, et al., 1992.

#### 5.4.3 Determinação da acidez potencial pela incubação do solo com $CaCO_3$

Esse procedimento consistiu na incubação do solo com doses de  $CaCO_3$

e estimativa da quantidade de acidez neutralizada pela adição de base para o solo atingir o valor de pH 7,0 por regressão simples (GIL, 2022).

Cada solo foi incubado com sete doses de  $\text{CaCO}_3$ , as doses utilizadas foram calculadas como a quantidade de  $\text{CaCO}_3$  para neutralizar as porcentagens de 0, 30, 60, 90, 120, 150 e 180%, da acidez potencial determinada pelo pH SMP. Para cada amostra de solo foram preparadas 14 unidades experimentais (duplicata). Cada unidade experimental foi composta por 500 g de TFSA, a respectiva dose de  $\text{CaCO}_3$  e sua devida identificação. A massa de TFSA (500 g) foi mensurada em uma balança semianalítica (marca Marte, modelo AS2000C, precisão 0,01 g). As doses de  $\text{CaCO}_3$  foram mensuradas em uma balança analítica (modelo explorer, marca Ohaus, precisão 0,0001 g) (GIL, 2022).

O  $\text{CaCO}_3$  foi homogeneizado com a TFSA em cada unidade experimental, e umedecido com água destilada (70% da capacidade de campo). As misturas ( $\text{CaCO}_3$  + TFSA) foram armazenadas em sacos plásticos e fechados com o auxílio de um elástico, além da inserção de uma mangueira de 10 mm de diâmetro para ocorrer as trocas gasosas (GIL, 2022).

O tempo de incubação das amostras foi de 120 dias em laboratório, com temperatura entre 23 e 27 °C. A umidade foi controlada semanalmente com o auxílio uma balança semianalítica (marca Marte, modelo AS2000C, precisão 0,01 g) e a adição de água deionizada e mantida a umidade próxima a 70% da capacidade de campo para adequada reação do ( $\text{CaCO}_3$ ) (GIL, 2022).

Decorridos os 120 dias da incubação, o solo foi seco ao ar e passado por uma peneira de 2,0 mm e posteriormente, foi determinado o pH em solução  $\text{CaCl}_2$  0,01 molL<sup>-1</sup>, conforme PAVAN et al., 1992 (procedimento descrito no item 5.4.1) (GIL, 2022).

#### 5.4.4 Determinação do pH IPR/UEM


A composição do tampão IPR/UEM teve os seguintes reagentes: trietanolamina (35,1 mmol L<sup>-1</sup>), imidazol (16,7 mmol L<sup>-1</sup>), MÊS (41,1 mmol L<sup>-1</sup>), acetato de cálcio (26,2mmol L<sup>-1</sup>), lactato de cálcio (16,4 mmol L<sup>-1</sup>) e cloreto de cálcio (722,4 mmol L<sup>-1</sup>); todas essas substâncias não são tóxicas ou cancerígenas, além de menor risco de contaminação para o laboratorista, não

há necessidade de tratamento adicional para o descarte do resíduo após determinação no laboratório. O procedimento foi utilizado para a determinação do pH da solução e seguiu o mesmo adotado para o tampão SMP no Paraná (PAVAN et al., 1992; PAVAN; OLIVEIRA; MIYAZAWA, 1996), apenas substituindo o tampão SMP pelo tampão IPR/UEM (GIL, 2022).

## 5.5 Resultados das análises

Após os procedimentos das análises, é preenchida a ficha de resultado de análise de solo, conforme ilustrado pela Figura 21.

Figura 21 - Ficha de resultado de análise de solo.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ		LABORATÓRIO DE SOLOS DE:		
 RODOVIA CELSO GARCIA CD. - KM 235 - TRÊS MARCOS TELEFONE: (41) 3519-2000 - FAX: (41) 3519-9111 CAIXA POSTAL 481 - CEP 86001-970 - LONDRINA - PR - BRASIL TRICULADO & SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO TEL: (41) 3519-9100				
RESULTADO DE ANÁLISE DE SOLO				
SOLICITANTE:		LOCALIDADE:		
PROPRIEDADE:		MUNICÍPIO / ESTADO:		
NÚMERO DO LABORATÓRIO:		Nº DO LAUDO		
DESCRIÇÃO DA AMOSTRA:		Nº NPS		
mg / dm <sup>3</sup>		DATA		
g / dm <sup>3</sup>				
pH				
Al		cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup> de sais		
H+Al		%		
Ca				
Mg				
K				
SB				
T				
V				
SAt				
SB= Soma de Bases    T= Capacidade de Troca de Cátions    V= Saturação por Bases    SAt= Saturação por Alumínio P - K: Mandoni 1    Ca - Mg - Al: KCl M    pH: CaCl <sub>2</sub> 0,01 M    C= Walkley - Black OBS.:				
NESTE RESULTADO DE ANÁLISE, NÃO CONSTAM RECOMENDAÇÕES DE CORRETIVOS E FERTILIZANTES.				

Fonte: Autora, 2023.

## 5.6 Tratamento estatístico

Os resultados foram ajustados por regressão linear simples e múltipla ( $\alpha < 0,05$ ). Na regressão linear simples há apenas uma variável independente e a regressão linear múltipla é quando o desfecho (resultado) não depende apenas de uma variável, mas de várias, ou seja, com mais de uma variável independente (CAPP; NIENOV, 2020).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das metodologias propostas, tais como: SMP, IPR/UEM, H + AI e pH CaCl<sub>2</sub>, consistiu na incubação do solo com diferentes porcentagens de CaCO<sub>3</sub>, com o intuito de neutralizar a acidez desses solos, atingindo o pH 7.

As amostras de solo foram coletadas em 10 localidades do estado do Paraná, conforme a Figura 12 e para cada cidade foram coletados dois horizontes, sendo o Horizonte A amostras de solo coletadas de 0 a 20 cm da superfície e o Horizonte B amostras de solo coletadas de 40 a 60 cm.

Cada solo foi incubado com sete doses de CaCO<sub>3</sub>: A = 0%; B = 30%; C = 60%; D = 90%; E = 120%; F = 150% e G = 180%, conforme os dados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores obtidos das médias dos pHs em função da variação da porcentagem de CaCO<sub>3</sub> (A = 0; B = 30; C = 60; D = 90; E = 120; F = 150 e G = 180).

Horizonte A		Solo 1 - Média de pH					
	A	B	C	D	E	F	G
<b>SMP</b>	4,78	5,07	5,30	6,65	6,07	6,35	6,73
<b>IPR/UEM</b>	4,80	5,11	5,34	5,70	6,07	6,34	6,69
<b>H + AI</b>	0	3,37	6,74	10,12	13,49	16,87	20,24
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	3,92	4,35	4,69	5,19	5,55	6,23	6,90
Horizonte B		Solo 1 - Média de pH					
	A	B	C	D	E	F	G
<b>SMP</b>	5,48	5,94	6,30	6,61	6,95	7,14	7,26
<b>IPR/UEM</b>	5,50	5,88	6,26	6,49	6,80	7,01	7,15
<b>H + AI</b>	0	2,32	4,65	6,97	9,30	11,62	13,95
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,08	4,74	5,48	6,09	6,65	7,11	7,43
Horizonte A		Solo 2 - Média de pH					
	A	B	C	D	E	F	G
<b>SMP</b>	4,79	5,15	5,58	5,86	6,17	6,43	6,56
<b>IPR/UEM</b>	4,73	5,06	5,48	5,82	6,13	6,39	6,55
<b>H + AI</b>	0	3,63	7,27	10,91	14,55	18,19	21,83
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	3,93	4,48	5,10	5,63	6,00	6,49	6,80
Horizonte B		Solo 2 - Média de pH					
	A	B	C	D	E	F	G
<b>SMP</b>	4,75	5,27	5,75	6,16	6,41	6,68	6,91
<b>IPR/UEM</b>	4,85	5,35	5,79	6,18	6,45	6,71	6,93
<b>H + AI</b>	0	3,37	6,74	10,12	13,49	16,87	20,24
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	3,88	4,54	5,19	5,85	6,38	6,91	7,34
Horizonte A		Solo 3 - Média de pH					
	A	B	C	D	E	F	G
<b>SMP</b>	5,76	5,82	5,94	6,09	6,10	6,29	6,38
<b>IPR/UEM</b>	5,74	5,77	5,98	6,10	6,09	6,25	6,34

<b>H + AI</b>	0	1,72	3,45	5,17	6,90	8,63	10,35
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	5,07	5,10	5,49	5,76	5,80	6,08	6,37
<b>Horizonte B</b>	<b>Solo 3 - Média de pH</b>						
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
<b>SMP</b>	5,43	5,74	5,95	6,21	6,41	6,55	6,69
<b>IPR/UEM</b>	5,43	5,72	5,94	6,16	6,35	6,47	6,64
<b>H + AI</b>	0	2,32	4,65	6,97	9,30	11,62	13,95
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,59	5,05	5,44	5,89	6,21	6,49	6,74
<b>Horizonte A</b>	<b>Solo 4 - Média de pH</b>						
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
<b>SMP</b>	4,71	4,75	4,96	5,16	5,36	5,58	5,81
<b>IPR/UEM</b>	4,67	4,71	4,89	5,03	5,24	5,46	5,67
<b>H + AI</b>	0	3,63	7,27	10,91	14,55	18,19	21,83
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,24	4,31	4,60	4,83	5,10	5,42	5,80
<b>Horizonte B</b>	<b>Solo 4 - Média de pH</b>						
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
<b>SMP</b>	4,77	5,04	5,28	5,53	5,83	6,13	6,38
<b>IPR/UEM</b>	4,73	5,01	5,25	5,49	5,77	6,03	6,24
<b>H + AI</b>	0	3,63	7,27	10,91	14,55	18,19	21,83
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,15	4,49	4,82	5,11	5,49	5,99	6,34
<b>Horizonte A</b>	<b>Solo 5 - Média de pH</b>						
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
<b>SMP</b>	4,95	5,17	5,46	5,74	5,99	6,26	6,42
<b>IPR/UEM</b>	4,91	5,12	5,39	5,64	5,87	6,11	6,30
<b>H + AI</b>	0	2,90	5,81	8,72	11,62	14,53	17,44
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,11	4,44	4,86	5,21	5,59	6,00	6,33
<b>Horizonte B</b>	<b>Solo 5 - Média de pH</b>						
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
<b>SMP</b>	5,07	5,39	5,77	6,12	6,34	6,58	6,80
<b>IPR/UEM</b>	5,06	5,36	5,70	6,00	6,21	6,44	6,65
<b>H + AI</b>	0	3,13	6,27	9,40	12,54	15,67	18,81
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,17	4,60	5,13	5,60	5,99	6,49	6,88
<b>Horizonte A</b>	<b>Solo 6 - Média de pH</b>						
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
<b>SMP</b>	5,43	5,73	5,99	6,31	6,45	6,66	6,84
<b>IPR/UEM</b>	5,54	5,82	6,07	6,39	6,55	6,71	6,87
<b>H + AI</b>	0	2,32	4,65	6,97	9,30	11,62	13,95
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,70	5,19	5,57	5,95	6,35	6,71	7,00
<b>Horizonte B</b>	<b>Solo 6 - Média de pH</b>						
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
<b>SMP</b>	4,79	5,34	5,84	6,32	6,72	7,03	7,13
<b>IPR/UEM</b>	4,95	5,49	5,96	6,40	6,78	7,07	7,17
<b>H + AI</b>	0	3,63	7,27	10,91	14,55	18,19	21,83
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,05	4,63	5,27	5,92	6,71	7,31	7,45
<b>Horizonte A</b>	<b>Solo 7 - Média de pH</b>						
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
<b>SMP</b>	4,97	5,21	5,44	5,60	5,80	6,03	6,16
<b>IPR/UEM</b>	5,07	5,40	5,60	5,80	6,06	6,31	6,40
<b>H + AI</b>	0	3,13	6,27	9,40	12,54	15,67	18,81
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,66	4,97	5,22	5,41	5,70	6,05	6,25



<b>Horizonte B</b>		<b>Solo 7 - Média de pH</b>						
	A	B	C	D	E	F	G	
<b>SMP</b>	5,27	5,60	5,92	6,21	6,45	6,66	6,82	
<b>IPR/UEM</b>	5,48	5,78	6,05	6,28	6,50	6,71	6,87	
<b>H + AI</b>	0	2,50	5,01	7,51	10,02	12,52	15,03	
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,25	4,77	5,28	5,80	6,20	6,62	6,95	
<b>Horizonte A</b>		<b>Solo 8 - Média de pH</b>						
	A	B	C	D	E	F	G	
<b>SMP</b>	5,91	6,22	6,64	7,01	7,26	7,31	7,37	
<b>IPR/UEM</b>	5,96	6,23	6,62	6,96	7,22	7,34	7,37	
<b>H + AI</b>	0	1,60	3,20	4,80	6,40	8,00	9,60	
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	3,85	4,43	5,13	6,12	6,84	7,15	7,32	
<b>Horizonte B</b>		<b>Solo 8 - Média de pH</b>						
	A	B	C	D	E	F	G	
<b>SMP</b>	6,28	6,85	7,25	7,41	7,44	7,43	7,43	
<b>IPR/UEM</b>	6,31	6,85	7,28	7,45	7,46	7,46	7,46	
<b>H + AI</b>	0	1,72	3,45	5,17	6,90	8,63	10,35	
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	3,95	5,08	6,77	7,50	7,50	7,56	7,54	
<b>Horizonte A</b>		<b>Solo 9 - Média de pH</b>						
	A	B	C	D	E	F	G	
<b>SMP</b>	5,23	5,91	6,63	7,00	7,17	7,23	7,29	
<b>IPR/UEM</b>	5,33	5,97	6,59	6,97	7,14	7,21	7,26	
<b>H + AI</b>	0	3,37	6,74	10,12	13,49	16,87	20,24	
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	3,76	4,85	6,04	6,90	7,28	7,33	7,41	
<b>Horizonte B</b>		<b>Solo 9 - Média de pH</b>						
	A	B	C	D	E	F	G	
<b>SMP</b>	5,56	6,14	6,74	7,14	7,26	7,29	7,31	
<b>IPR/UEM</b>	5,60	6,17	6,72	7,15	7,30	7,32	7,34	
<b>H + AI</b>	0	2,69	5,39	8,09	10,79	13,48	16,18	
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	3,81	4,82	5,92	7,10	7,41	7,47	7,49	
<b>Horizonte A</b>		<b>Solo 10 - Média de pH</b>						
	A	B	C	D	E	F	G	
<b>SMP</b>	5,67	5,94	6,20	6,24	6,36	6,74	6,81	
<b>IPR/UEM</b>	5,77	6,05	6,31	6,32	6,43	6,76	6,83	
<b>H + AI</b>	0	2,50	5,01	7,51	10,02	12,52	15,03	
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,72	5,13	5,53	5,60	5,92	6,46	6,89	
<b>Horizonte B</b>		<b>Solo 10 - Média de pH</b>						
	A	B	C	D	E	F	G	
<b>SMP</b>	5,69	6,15	6,47	6,75	6,94	7,13	7,23	
<b>IPR/UEM</b>	5,79	6,18	6,48	6,77	6,97	7,17	7,29	
<b>H + AI</b>	0	2,32	4,65	6,97	9,30	11,62	13,95	
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,11	4,89	5,74	6,36	6,93	7,34	7,50	

Fonte: Autora, 2023.

Com base na Tabela 3, pode-se verificar que o tampão SMP e IPR/UEM tiveram valores de pH próximos por serem metodologias similares. O procedimento do tampão IPR/UEM seguiu o mesmo procedimento adotado para o tampão SMP,

porém utiliza substâncias que não são tóxicas ou cancerígenas, além de menor risco de contaminação para o laboratorista e não há necessidade de tratamento adicional para o descarte do resíduo após determinação no laboratório (GIL, 2022).

Observando os valores do H + Al e o pH CaCl<sub>2</sub>, que são referentes a tese de doutorado de GIL, 2022, para fins comparativos com as análises de pH SMP e pH IPR/UEM. Houve uma grande diferença entre eles, já que o pH CaCl<sub>2</sub> é uma medida do pH do solo obtida usando uma solução de cloreto de cálcio como extrator. Essa medida é útil para avaliar a disponibilidade de nutrientes para as plantas e também pode indicar a acidez do solo em relação à capacidade de retenção de cátions como o cálcio (Ca<sup>2+</sup>) e magnésio (Mg<sup>2+</sup>). No entanto, o pH CaCl<sub>2</sub> não fornece a estimativa da acidez potencial do solo (ILSA BRASIL, 2021).

Já a acidez potencial H + Al, que é uma medida estimada da quantidade de acidez total presente no solo (poder tamponante), expressa em termos de íons de hidrogênio e alumínio disponíveis para serem trocados com cátions básicos, tais como: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>. Essa medida indica a capacidade do solo de acidificar a solução do solo, pois o H<sup>+</sup> e o Al<sup>3+</sup> são íons de caráter ácido. A acidez potencial é um indicador importante da fertilidade do solo, pois altos níveis de acidez potencial podem afetar a disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas (ILSA BRASIL, 2021).

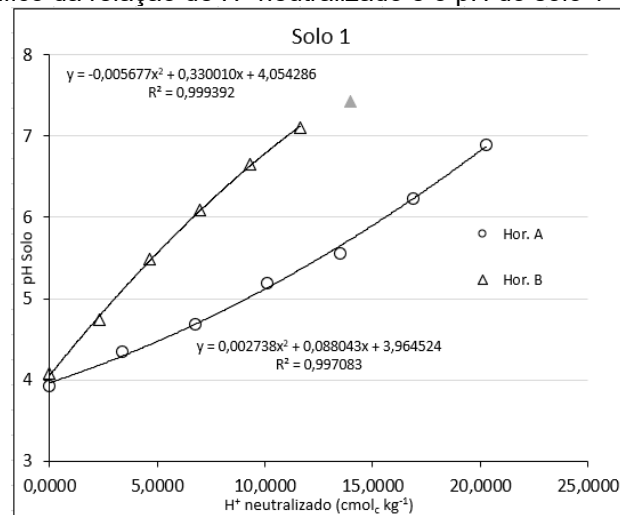
As Tabelas de 4 a 13 e as Figuras 22 a 31, foram adaptadas de GIL, 2022. Foram utilizadas como parâmetro comparativo com as demais análises. As tabelas apresentam os valores de pH após a incubação, a porcentagem de CaCO<sub>3</sub> incubados, a quantidade de CaCO<sub>3</sub> (em gramas) por quilograma (Kg) de solo que foi adicionado e a quantidade de equivalente em base (OH<sup>-</sup>) adicionada, descrito tanto no horizonte A quanto no horizonte B.

Tabela 4 - Valores do pH, da porcentagem adicionada de CaCO<sub>3</sub>. g/kg de CaCO<sub>3</sub> por solo e cmolc/kg de OH adicionado do solo 1 - Horizonte A e B.

Horizonte A				
1	pH	% adic. CaCO <sub>3</sub>	g/kg CaCO <sub>3</sub>	adic. OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	3,92	0	0	0,0000
B	4,35	30	1,689	3,3750
C	4,69	60	3,378	6,7499
D	5,19	90	5,067	10,1249
E	5,55	120	6,756	13,4999
F	6,23	150	8,445	16,8748
G	6,90	180	10,134	20,2498
Horizonte B				
1	pH	% adic. CaCO <sub>3</sub>	g/kg CaCO <sub>3</sub>	adic. OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	4,08	0	0	0,0000
B	4,74	30	1,164	2,3259
C	5,48	60	2,328	4,6518
D	6,09	90	3,492	6,9777
E	6,65	120	4,656	9,3036
F	7,11	150	5,820	11,6295
G	7,43	180	6,984	13,9554

Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Figura 22 - Gráfico da relação de H<sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 1 - Horizonte A e B.



Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Tabela 5 - Valores do pH, da porcentagem adicionada de CaCO<sub>3</sub>. g/kg de CaCO<sub>3</sub> por solo e cmolc/kg de OH adicionado do solo 2 - Horizonte A e B.

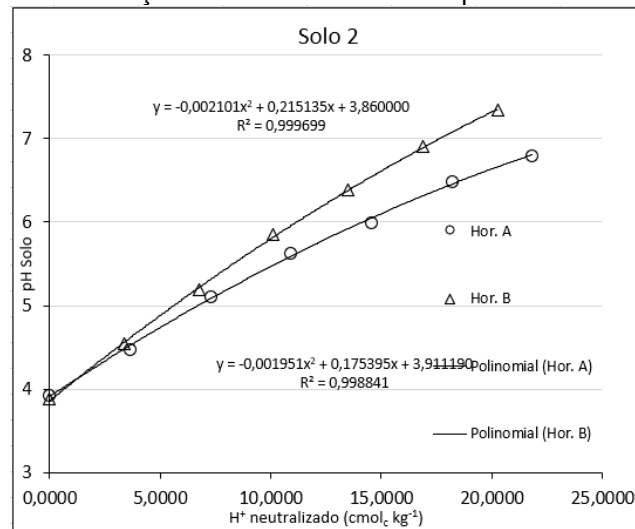
Horizonte	A	% adic.	g/kg	adic.
2	pH	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	3,93	0	0	0,0000
B	4,48	30	1,821	3,3750
C	5,10	60	3,642	6,7499
D	5,63	90	5,463	10,1249
E	6,00	120	7,284	13,4999
F	6,49	150	9,105	16,8748
G	6,80	180	10,926	20,2498

Horizonte	B	% adic.	g/kg	adic.
2	pH	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	3,88	0	0	0,0000
B	4,54	30	1,689	3,3750
C	5,19	60	3,378	6,7499
D	5,85	90	5,067	10,1249
E	6,38	120	6,756	13,4999
F	6,91	150	8,445	16,8748
G	7,34	180	10,134	20,2498

Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Figura 23 - Gráfico da relação de H<sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 2 - Horizonte A e B.



Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Tabela 6 - Valores do pH, da porcentagem adicionada de CaCO<sub>3</sub>, g/kg de CaCO<sub>3</sub> por solo e cmolc/kg de OH adicionado no solo 3 - Horizonte A e B.

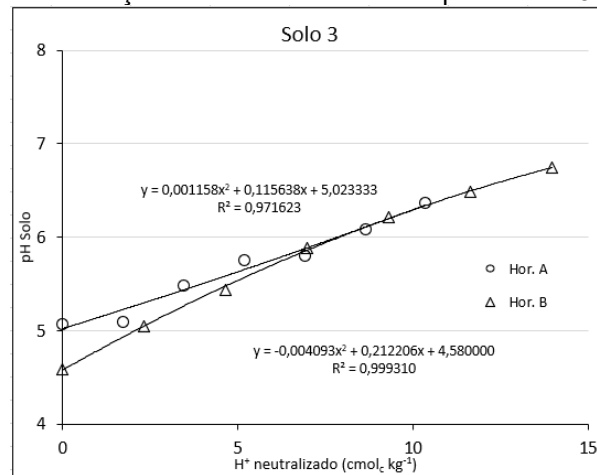
Horizonte A				
3	pH	% adic. CaCO <sub>3</sub>	g/kg CaCO <sub>3</sub>	adic. OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	5,07	0	0	0
B	5,10	30	0,864	1,7264
C	5,49	60	1,728	3,4529
D	5,76	90	2,592	5,1793
E	5,80	120	3,456	6,9058
F	6,08	150	4,320	8,6322
G	6,37	180	5,184	10,359

Horizonte B				
3	pH	% adic. CaCO <sub>3</sub>	g/kg CaCO <sub>3</sub>	adic. OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	4,59	0	0	0
B	5,05	30	1,164	2,3259
C	5,44	60	2,328	4,6518
D	5,89	90	3,492	6,9777
E	6,21	120	4,656	9,3036
F	6,49	150	5,820	11,63
G	6,74	180	6,984	13,955

Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Figura 24 - Gráfico da relação de H<sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 3 - Horizonte A e B.



Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Tabela 7 - Valores do pH, da porcentagem adicionada de CaCO<sub>3</sub>, g/kg de CaCO<sub>3</sub> por solo e cmolc/kg de OH adicionado no solo 4 - Horizonte A e B.

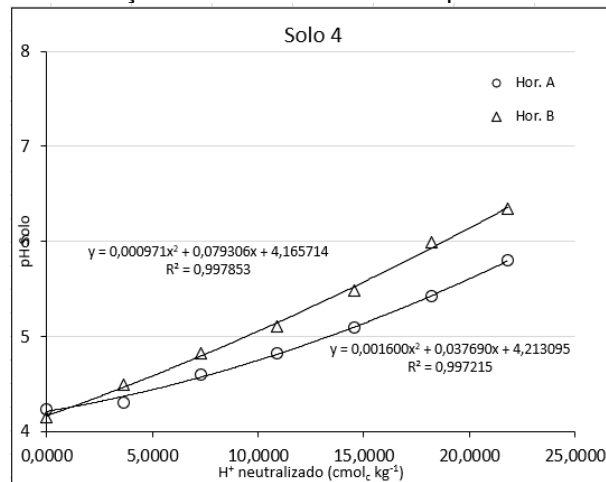
Horizonte A			
4	pH	% adic. CaCO <sub>3</sub>	g/kg CaCO <sub>3</sub> adic. OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	4,24	0	0,0000
B	4,31	30	3,6387
C	4,60	60	7,2775
D	4,83	90	10,9162
E	5,10	120	14,5549
F	5,42	150	18,1936
G	5,80	180	21,8324

Horizonte B			
4	pH	% adic. CaCO <sub>3</sub>	g/kg CaCO <sub>3</sub> adic. OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	4,15	0	0,0000
B	4,49	30	3,6387
C	4,82	60	7,2775
D	5,11	90	10,9162
E	5,49	120	14,5549
F	5,99	150	18,1936
G	6,34	180	21,8324

Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Figura 25 - Gráfico da relação de H<sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 4 - Horizonte A e B.



Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Tabela 8 - Valores do pH, da porcentagem adicionada de CaCO<sub>3</sub>, g/kg de CaCO<sub>3</sub> por solo e cmolc/kg de OH adicionado no solo 5 - Horizonte A e B.

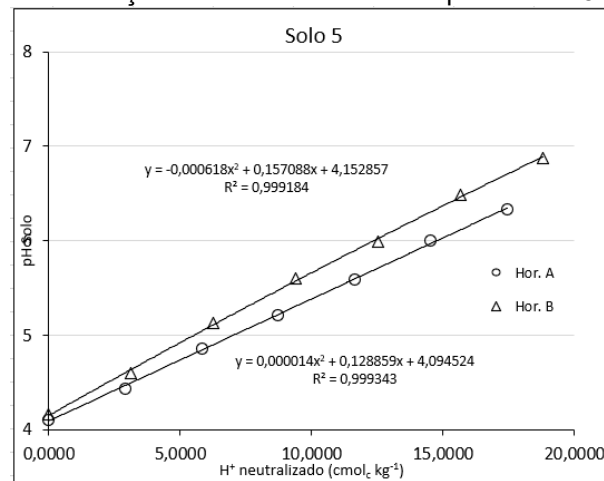
Horizonte A				
5	pH	% adic. CaCO <sub>3</sub>	g/kg CaCO <sub>3</sub>	adic. OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	4,11	0	0	0,0000
B	4,44	30	1,455	2,9074
C	4,86	60	2,910	5,8148
D	5,21	90	4,365	8,7222
E	5,59	120	5,820	11,6295
F	6,00	150	7,275	14,5369
G	6,33	180	8,730	17,4443

Horizonte B				
5	pH	% adic. CaCO <sub>3</sub>	g/kg CaCO <sub>3</sub>	adic. OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	4,17	0	0	0,0000
B	4,60	30	1,569	3,1352
C	5,13	60	3,138	6,2704
D	5,60	90	4,707	9,4055
E	5,99	120	6,276	12,5407
F	6,49	150	7,845	15,6759
G	6,88	180	9,414	18,8111

Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Figura 26 - Gráfico da relação de H<sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 5 - Horizonte A e B.



Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Tabela 9 - Valores do pH, da porcentagem adicionada de CaCO<sub>3</sub>, g/kg de CaCO<sub>3</sub> por solo e cmolc/kg de OH adicionado no solo 6 - Horizonte A e B.

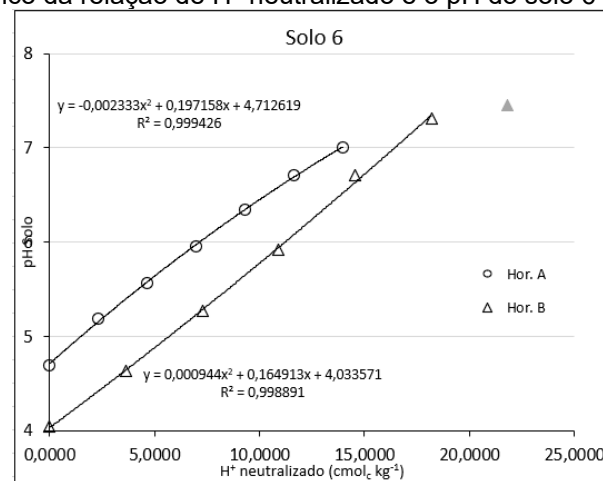
Horizonte A				
6	pH	% adic. CaCO <sub>3</sub>	g/kg CaCO <sub>3</sub>	adic. OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	4,70	0	0	0,0000
B	5,19	30	1,164	2,3259
C	5,57	60	2,328	4,6518
D	5,95	90	3,492	6,9777
E	6,35	120	4,656	9,3036
F	6,71	150	5,820	11,6295
G	7,00	180	6,984	13,9554

Horizonte B				
6	pH	% adic. CaCO <sub>3</sub>	g/kg CaCO <sub>3</sub>	adic. OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	4,05	0	0	0,0000
B	4,63	30	1,821	3,6387
C	5,27	60	3,642	7,2775
D	5,92	90	5,463	10,9162
E	6,71	120	7,284	14,5549
F	7,31	150	9,105	18,1936
G	7,45	180	10,926	21,8324

Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Figura 27 - Gráfico da relação de H<sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 6 - Horizonte A e B.



Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

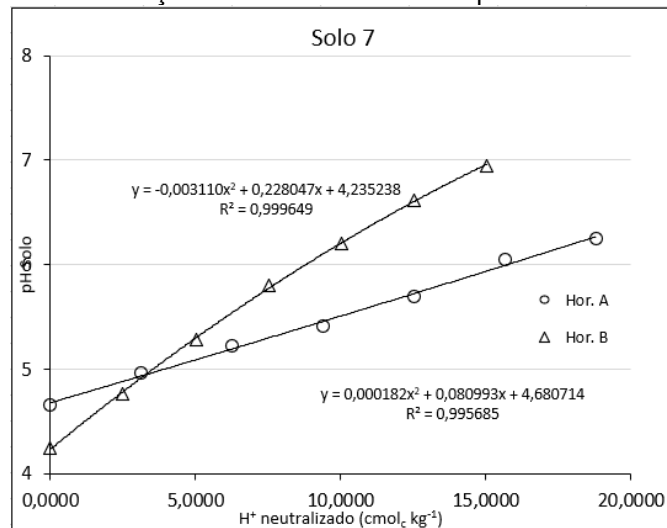


Tabela 10 - Valores do pH, da porcentagem adicionada de CaCO<sub>3</sub>, g/kg de CaCO<sub>3</sub> por solo e cmolc/kg de OH adicionado no solo 7 - Horizonte A e B.

Horizonte A				
7	pH	% adic.	g/kg	adic.
		CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	4,66	0	0	0,0000
B	4,97	30	1,569	3,1352
C	5,22	60	3,138	6,2704
D	5,41	90	4,707	9,4055
E	5,70	120	6,276	12,5407
F	6,05	150	7,845	15,6759
G	6,25	180	9,414	18,8111
Horizonte B				
7	pH	% adic.	g/kg	adic.
		CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	4,25	0	0	0,0000
B	4,77	30	1,254	2,5057
C	5,28	60	2,508	5,0115
D	5,80	90	3,762	7,5172
E	6,20	120	5,016	10,0230
F	6,62	150	6,270	12,5287
G	6,95	180	7,524	15,0345

Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Figura 28 - Gráfico da relação de H<sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 7 - Horizonte A e B.



Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Tabela 11 – Valores do pH, da porcentagem adicionada de CaCO<sub>3</sub>, g/kg de CaCO<sub>3</sub> por solo e cmolc/kg de OH adicionado no solo 8 – Horizonte A e B.

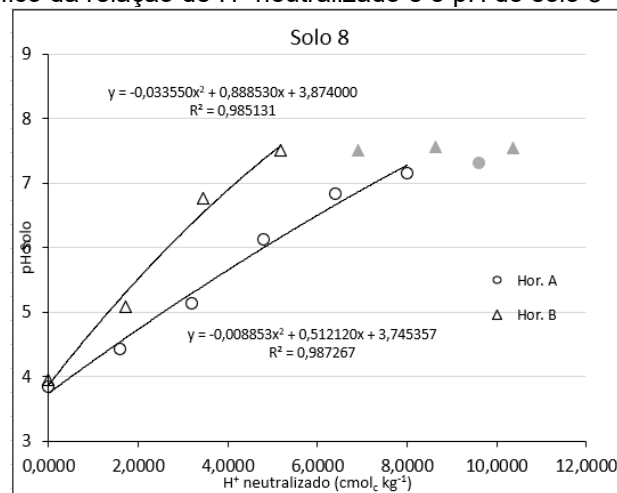
Horizonte A			
8	pH	% adic. CaCO <sub>3</sub>	g/kg CaCO <sub>3</sub> adic. OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	3,85	0	0,0000
B	4,43	30	1,6006
C	5,13	60	3,2011
D	6,12	90	4,8017
E	6,84	120	6,4022
F	7,15	150	8,0028
G	7,32	180	9,6034

Horizonte B			
8	pH	% adic. CaCO <sub>3</sub>	g/kg CaCO <sub>3</sub> adic. OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	3,95	0	0,0000
B	5,08	30	1,7264
C	6,77	60	3,4529
D	7,50	90	5,1793
E	7,50	120	6,9058
F	7,56	150	8,6322
G	7,54	180	10,3587

Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Figura 29 – Gráfico da relação de H<sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 8 – Horizonte A e B.



Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Tabela 12 – Valores do pH, da porcentagem adicionada de CaCO<sub>3</sub>, g/kg de CaCO<sub>3</sub> por solo e cmolc/kg de OH adicionado no solo 9 – Horizonte A e B.

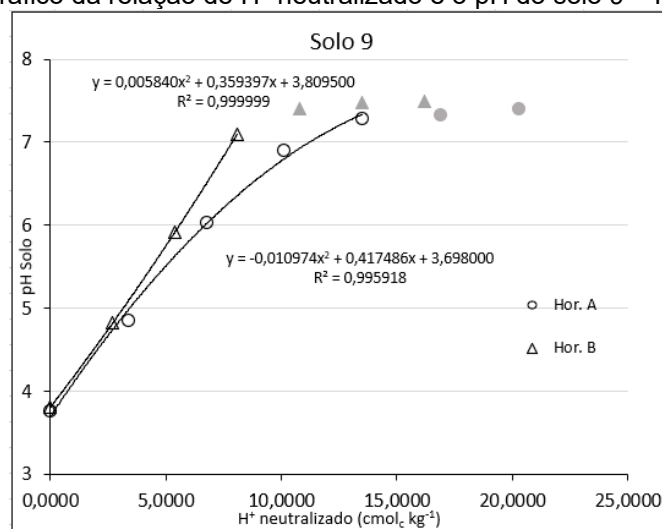
Horizonte A				
9	pH	% adic.	g/kg	adic.
		CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	3,76	0	0	0,0000
B	4,85	30	1,689	3,3750
C	6,04	60	3,378	6,7499
D	6,90	90	5,067	10,1249
E	7,28	120	6,756	13,4999
F	7,33	150	8,445	16,8748
G	7,41	180	10,134	20,2498

Horizonte B				
9	pH	% adic.	g/kg	adic.
		CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	3,81	0	0	0,0000
B	4,82	30	1,350	2,6976
C	5,92	60	2,700	5,3951
D	7,10	90	4,050	8,0927
E	7,41	120	5,400	10,7903
F	7,47	150	6,750	13,4879
G	7,49	180	8,100	16,1854

Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Figura 30 – Gráfico da relação de H<sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 9 – Horizonte A e B.



Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Tabela 13 - Valores do pH, da porcentagem adicionada de CaCO<sub>3</sub>, g/kg de CaCO<sub>3</sub> por solo e cmolc/kg de OH adicionado no solo 10 - Horizonte A e B.

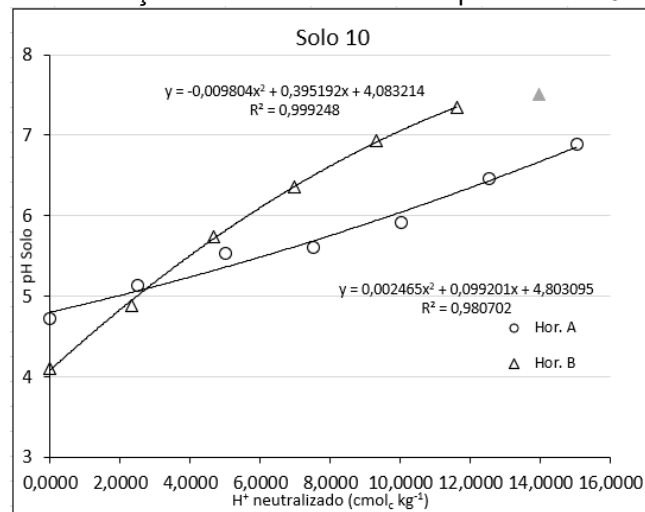
Horizonte				
	A	% adic.	g/kg	adic.
10	pH	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	4,72	0	0	0,0000
B	5,13	30	1,254	2,5057
C	5,53	60	2,508	5,0115
D	5,60	90	3,762	7,5172
E	5,92	120	5,016	10,0230
F	6,46	150	6,270	12,5287
G	6,89	180	7,524	15,0345

Horizonte				
	B	% adic.	g/kg	adic.
10	pH	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	OH cmolc kg <sup>-1</sup>
A	4,11	0	0	0,0000
B	4,89	30	1,164	2,3259
C	5,74	60	2,328	4,6518
D	6,36	90	3,492	6,9777
E	6,93	120	4,656	9,3036
F	7,34	150	5,820	11,6295
G	7,50	180	6,984	13,9554

Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Figura 31 - Gráfico da relação de H<sup>+</sup> neutralizado e o pH do solo 10 - Horizonte A e B.



Fonte: Adaptado de GIL, 2022.

Pela análise das Figuras apresentadas acima, verificou-se que as Figuras 22, 23, 25, 26, 29 e 30 apresentam comportamentos semelhantes, visto que na primeira dose de  $\text{CaCO}_3$  os pHs do horizonte A e B estão bem próximos e conforme aumentasse as doses de  $\text{CaCO}_3$ , os valores dos pHs se distanciam-se. Cada solo tem um tamponamento diferente, sendo necessário adicionar mais  $\text{CaCO}_3$ , no entanto, não aumentam significativamente o pH, foi o caso do solo 1G, Horizonte A que teve pH 6,9, adicionando-se 10,134 g de  $\text{CaCO}_3$  por quilograma de solo. Já no solo 1G Horizonte B, com pH 7,43, foram adicionados apenas 6,984 g de  $\text{CaCO}_3$  por quilograma de solo.

Nas Figuras 24 e 27 o comportamento do gráfico sofreu uma alteração nas primeiras doses de  $\text{CaCO}_3$ . Observou-se que os valores de pHs estavam mais distantes e foram se aproximando, isso se deve ao tamponamento do solo, conforme foram adicionadas as doses de  $\text{CaCO}_3$  o horizonte A e o horizonte B tiveram valores mais próximos.

Já nas Figuras 28 e 31 na segunda dose de  $\text{CaCO}_3$  os pHs mostraram uma maior aproximação, devido ao tamponamento do solo do horizonte A e B.

As Figuras 27, 29, 30 e 31 os valores de pH acima de 7 podem ser descartados, pois ao adicionar uma dose maior de  $\text{CaCO}_3$ , não ocorre reação, a capacidade de tamponamento é limitada devido à falta de reatividade do carbonato de cálcio., portanto, é desaconselhável utilizar doses mais elevadas, pois não resultam em uma reação significativa.

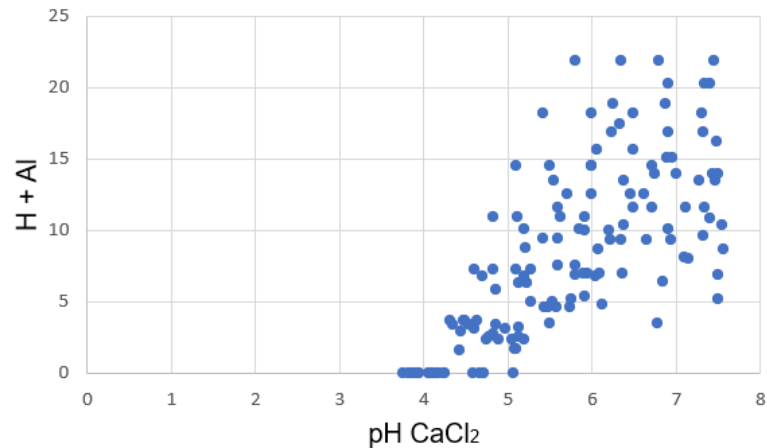
Devido a cada solo ter um comportamento, ter uma diferença de tamponamento, foi possível verificar que os horizontes A possuem maior quantidade de matéria orgânica pois têm mais cargas negativas tamponando o solo. Essa análise pôde ser observada no comportamento do gráfico, por apresentar menor inclinação. Já os horizontes B por possuírem menor teor de matéria orgânica, sendo então menos tamponado, refletirá em uma maior inclinação no gráfico.

A matéria orgânica do solo desempenha um papel importante, pois ela pode atuar como agente redutor, além disso, o aumento do pH ocasionado pela calagem altera a solubilidade dos principais cátions constituintes dos minerais ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Si}^{4+}$ ) que compõem os minerais dos solos. O comportamento no solo pode ser distinto, pois a reação da solução tamponada com a acidez do solo presente na fase sólida (minerais e matéria orgânica) é complexa, com vários mecanismos de liberação

e neutralização dos prótons (GIL, 2022).

Os gráficos a seguir, representados pelas Figuras 32 a 37, apresentam a relação entre as metodologias de determinação de pH, tais como: pH CaCl<sub>2</sub>, acidez potencial H + Al, pH SMP e IPR/UEM em amostras de solo coletadas no estado do Paraná.

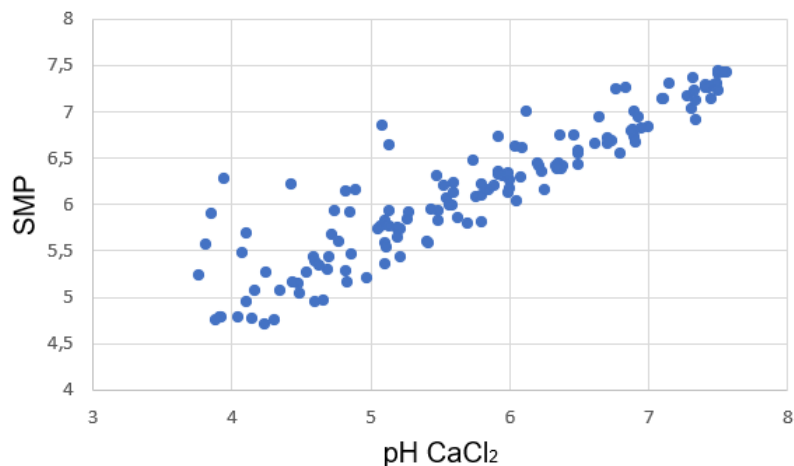
Figura 32 - Relação entre pH CaCl<sub>2</sub> e a acidez potencial (H + Al) em amostras de solo coletadas no Estado do Paraná.



Fonte: Autora, 2023.

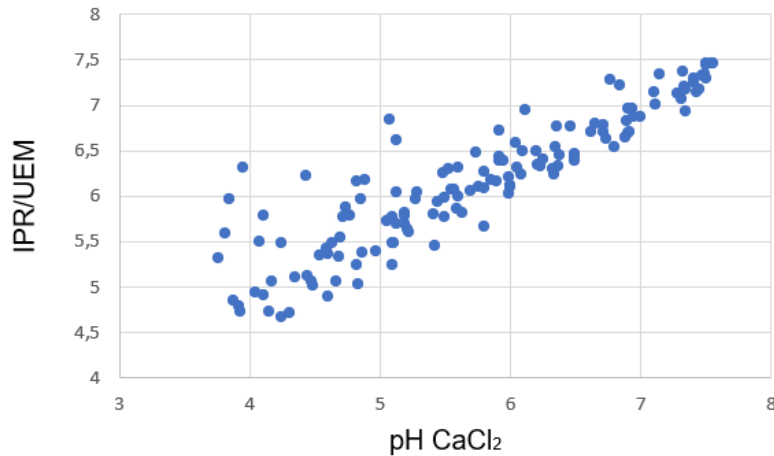
Embora tanto o pH CaCl<sub>2</sub> quanto a acidez potencial H + Al (Figura 32) sejam relacionados à acidez, ambos são determinados usando métodos e princípios diferentes. O pH CaCl<sub>2</sub> mede a concentração de íons H<sup>+</sup> em uma solução de extrato, enquanto a acidez potencial estima a quantidade total de acidez no solo. Portanto, não há uma relação direta entre o pH CaCl<sub>2</sub> e a acidez potencial H + Al.

Figura 33 - Relação entre pH CaCl<sub>2</sub> e o pH SMP em amostras de solo coletadas no Estado do Paraná.



Fonte: Autora, 2023.

Figura 34 - Relação entre pH CaCl<sub>2</sub> e o pH IPR/UEM em amostras de solo coletadas no Estado do Paraná.

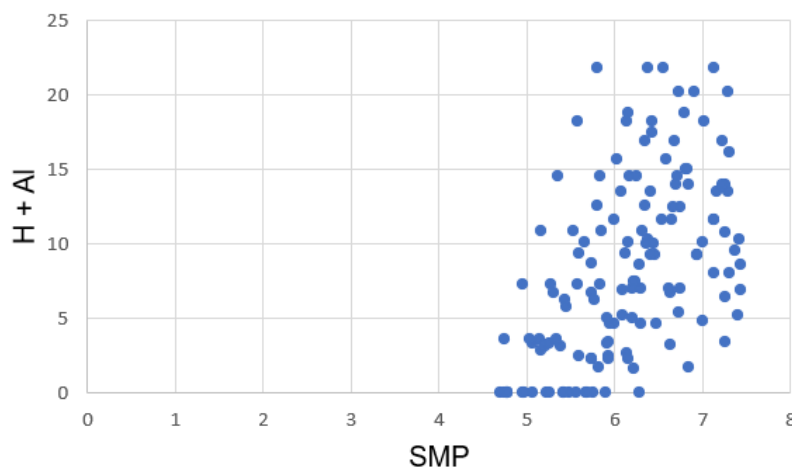


Fonte: Autora, 2023.

As Figuras 33 e 34 apresentam gráficos com comportamentos parecidos, isso aconteceu porque o pH SMP e pH IPR/UEM são metodologias parecidas.

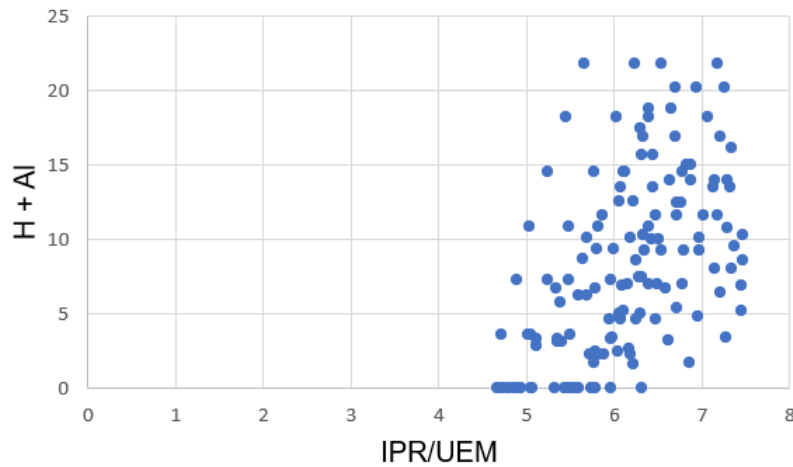
Há uma relação entre as amostras, embora geralmente seja bastante dispersa devido ao fato de que o pH CaCl<sub>2</sub> não é tamponado, apenas mede o pH do solo. Por outro lado, o pH SMP e pH IPR/UEM são soluções tamponadas que estão relacionadas à capacidade de tamponamento do solo, ou seja, a sua capacidade de resistir a alterações de pH. Das 20 amostras, 7 pontos correspondem ao mesmo tipo de solo, o que implica em uma correlação direta, uma vez que o tamponamento é idêntico. Assim, teoricamente, um aumento no pH tamponado deve ocorrer na mesma proporção para cada amostra.

Figura 35 - Relação entre pH SMP e a acidez potencial (H + Al) em amostras de solo coletadas no Estado do Paraná.



Fonte: Autora, 2023.

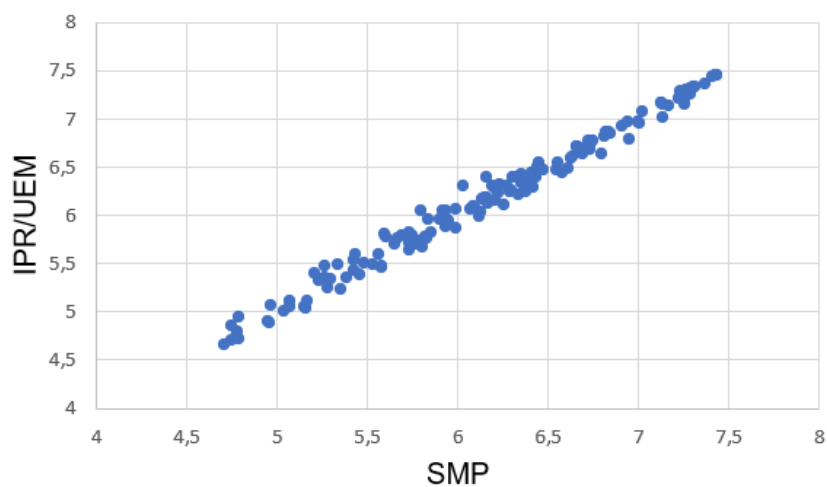
Figura 36 - Relação entre pH IPR/UEM e a acidez potencial (H + Al) em amostras de solo coletadas no Estado do Paraná.



Fonte: Autora, 2023.

Da mesma forma nas Figuras 35 e 36 apresentam gráficos com comportamentos parecidos, devido o pH SMP e pH IPR/UEM serem metodologias análogas. Houve uma dispersão bem grande, pois não há correlação entre eles, visto que essas duas medidas consideram diferentes aspectos da acidez do solo. A acidez potencial H + Al, reflete a quantidade total de íons de hidrogênio e alumínio presentes no solo, incluindo aqueles que estão adsorvidos aos colóides do solo e aqueles que podem ser liberados gradualmente ao longo do tempo.

Figura 37 - Relação entre pH SMP e o pH IPR/UEM em amostras de solo coletadas no Estado do Paraná.



Fonte: Autora, 2023.

Shoemaker et al. (1961) propuseram o método SMP, que reconhecidamente é um método simples, rápido, eficiente e de baixo custo, tornando sua adoção



conveniente nos laboratórios de análises de solo pelo Brasil. Para maior praticidade nos laboratórios, o procedimento foi associado após à rotina de determinação do pH em  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  (Raij et al., 2001; PRADO, 2016).

Apesar da eficiência do método SMP para estimar os teores de  $\text{H}^+\text{Al}$  dos solos, ele utiliza dois reagentes (*p*-nitrofenol e cromato de potássio) que são tóxicos ao meio ambiente e insalubres aos manipuladores (ROSSA, 2006), diante disso, esse método foi questionado.

Com o intuito de minimizar ou até mesmo substituir o método SMP, diversos estudos foram realizados com o objetivo de adaptá-lo, substituindo esses reagentes por outros não tóxicos (PRADO, 2016). Esse estudo resultou no desenvolvimento do método IPR/UEM, conforme mostra a Figura 37.

Com base na Figura 37, os valores do pH SMP e pH IPR/UEM foram bem próximos. Devido a esses valores serem correlatos, foi possível inferir que o pH IPR/UEM é uma ótima opção de análise, já que mostrou-se ser uma metodologia limpa, sem o uso de reagentes tóxicos e conseqüentemente, evitará a contaminação dos técnicos laboratoristas, durante o processo analítico, e também do meio ambiente, não gerando resíduos tóxicos após análise de solo; não havendo necessidade de tratamento adicional para o descarte do resíduo após determinação no laboratório, além de apresentar menor custo para o tratamento e descarte dos resíduos gerados (GIL, 2022).

## 7 CONCLUSÃO

Pela análise dos resultados obtidos, foi possível observar a relação entre as metodologias de determinação do pH do solo, como o pH SMP, pH IPR/UEM e pH  $\text{CaCl}_2$ , e a acidez potencial  $\text{H} + \text{Al}$ . Verificou-se que o pH SMP e o pH IPR/UEM, sendo metodologias análogas, apresentaram valores próximos, enquanto o pH  $\text{CaCl}_2$ , que mede apenas o pH do solo, não possui uma relação direta com a acidez potencial  $\text{H} + \text{Al}$ .

Foi evidenciado que a adição de doses crescentes de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) resultou em variações no pH do solo. Os horizontes A, que possuem maior quantidade de matéria orgânica, demonstraram um menor aumento de pH em relação aos horizontes B, que possuem menor teor de matéria orgânica. Isso indica que a presença de matéria orgânica exerce um papel importante no tamponamento do solo, influenciando sua capacidade de resistir a alterações de pH.

Além disso, observou-se que doses mais elevadas de  $\text{CaCO}_3$  não resultaram em uma reação significativa de neutralização do pH, indicando uma capacidade limitada de tamponamento. Portanto, é desaconselhável utilizar doses mais elevadas, uma vez que não resultam em benefícios significativos.

Nesse contexto, as metodologias de determinação do pH do solo, como o pH SMP e pH IPR/UEM, mostraram-se eficientes para estimar a acidez potencial dos solos. No entanto, o uso do método SMP possui reagentes tóxicos presentes em sua composição. Diante disso, o desenvolvimento da metodologia do tampão IPR/UEM, que utiliza substâncias não tóxicas ou cancerígenas, representa uma alternativa mais segura e ambientalmente amigável.

Portanto, conclui-se que o pH IPR/UEM é uma opção viável e poderá ser recomendada para determinação do pH do solo, por sua semelhança com o pH SMP, menor risco de contaminação para os técnicos laboratoristas, menor necessidade de tratamento e descarte dos resíduos gerados, além de ser uma alternativa mais sustentável.

Esses estudos têm importância prática para a análise e manejo de solos, fornecendo informações relevantes sobre a acidez e capacidade de tamponamento dos solos, auxiliando na tomada de decisões relacionadas à calagem e fertilização adequadas para a produção agrícola.

Reforça-se, por fim, a importância de futuros estudos e pesquisas visando o aprimoramento das metodologias de determinação do pH do solo, buscando alternativas ainda mais seguras, eficientes e sustentáveis para a análise de acidez e manejo dos solos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro. DOI: 10.5007/21407.

BHERING, S. B; *et al.* **Mapa de solos do Estado do Paraná**. EMBRAPA SOLOS, Rio de Janeiro, RJ, 2007. p. 73. Disponível em:  
< <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/79053/1/doc96-2007-parana-final.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2023.

BRADY, N. C; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. São Paulo: Bookman, 2013.

BRANDÃO, D. S; *et al.* **Química e Fertilidade do solo**. PortoAlegre, RS, SAGAH, 2021. p. 211-239. Disponível em:  
<<https://portal.utfpr.edu.br/biblioteca/bibliotec>>. Acesso em: 12 abr. 2023.

BRUNETTO, G. *et al.* Effectiveness of a rapid soil incubation method for determining potential acidity of soils in Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciência Rural**, [S. l.], v. 49, n. 2, p. 1–5, 2019. DOI: 10.1590/0103-8478cr20180350.

CAPP, E.; NIENOV, O. H. **Bioestatística quantitativa aplicada**. UFRGS. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde. Porto Alegre, RS. 2020.

DINÂMICA Química Contemporânea Ltda. **Ficha de informações de segurança de produtos químicos**. Disponível em:  
<[http://dinamicaquimica.com.br/freagentes/NITROFENOL\\_4.pdf](http://dinamicaquimica.com.br/freagentes/NITROFENOL_4.pdf)>. Acesso em: 05.jun.2023.

EMBRAPA SOLOS. **Mapa de solos do Brasil no primeiro nível categórico**, 2020. Disponível em:< <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/documents/2489>>. Acesso em: 17 jun. 2023.

EMBRAPA. **Solos brasileiros**. Brasília. Embrapa, 2011. Disponível em:  
<<https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil>>. Acesso em: 12abr. 2023.

FINKLER, R.; *et al.* **Ciências dosolo e fertilidade**. Porto Alegre, RS, SAGAH, 2018. Disponível em:  
<<https://portal.utfpr.edu.br/biblioteca/bibliotec>>. Acesso em: 09 abr. 2023.

GIL, L. G. **Desenvolvimento, análise e calibração de uma nova metodologia da acidez potencial nos sistemas produtivos atuais e a sua interação com os principais atributos dos solos do estado do Paraná.** Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2022.

**IDR-PARANÁ.** Disponível em: <<https://www.idrparana.pr.gov.br/>>. Acesso em: 28 fev. 2023.

ILSA BRASIL. **Acidez do solo**, 2021. Disponível em: <<https://ilsabrasil.com.br/acidez-do-solo/>> Acesso em: 15 jun. 2023.

KAMINSKI, J; *et al.* **Determinação da acidez potencial dos solos com a solução tampão Sikora como alternativa à solução SMP.** CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO: CONQUISTAS E DESAFIOS DA CIÊNCIA DO SOLO BRASILEIRA, XXXI., 2007. Gramado. 6 p.

KURIHARA, C. H.; *et al.* **Determinação de pH em cloreto de cálcio e pH SMP por meio de método com volume reduzido de solo e potenciômetro multi-eletrodo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis.

MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo.** v. 2. Aplicação. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

MSDS. **Material Safety Data Sheets - cromato de potássio.** 2017b. Disponível em: <[https://www.merckmillipore.com/BR/pt/product/msds/MDA\\_CHEM-104952](https://www.merckmillipore.com/BR/pt/product/msds/MDA_CHEM-104952)>. Acesso em: 09 abr. 2023.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 6, n. 1, p. 97–111, 2004.

NOVAIS, R. F.; *et al.* **Fertilidade do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

PAVAN, M. A.; *et al.* Manual de análise química de solo e controle de qualidade. Circular 76. ed. Londrina: IAPAR, 1992.

PAVAN, M. A.; OLIVEIRA, E. L.; MIYAZAWA, M.. Determinação indireta da acidez extraível do solo (H+Al) por potenciometria com a solução tampão SMP. **Arquivos**

de **Biologia e Tecnologia**, , v. 39, n. 2, p. 307–312, 1996.

PORTAL AGRICONLINE. **Como fazer análise de solo**. Disponível em: <<https://agriconline.com.br/portal/artigo/como-fazer-analise-de-solo/>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

PRADO, M. R. V. **Estimativa da acidez potencial dos solos do Estado do Mato Grosso com base em métodos tampões**. 2018. 82 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agricultura Tropical, Faculdade de Agronomia e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, M., A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória, ES: Incaper, 2013. 106 p.

ROSSA, Ü. B. **Estimativa de Calagem pelo Método SMP para alguns solos do Paraná**. 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF. EMBRAPA, 2013.

TEIXEIRA, C. P.; *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF. Embrapa, 2017.

TOLEDO, J. A.; *et al.* Tampão Santa Maria (TSM) como alternativa ao tampão SMP para medição da acidez potencial de solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 427–435, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S01006832012000200012>>. Acesso em: 12 abr. 2023.

## **ANEXO A – Classificação dos solos.**

- Chernossolos são muito férteis, apresentam de médios a altos teores de carbono e altos teores de cálcio e magnésio, conferindo alta saturação por bases. Podem apresentar alto teor de carbonato de cálcio secundário na forma de nódulos (EMBRAPA, 2011).
- Espodossolos apresentam horizonte subsuperficial com acúmulo de matéria orgânica e alumínio, podendo ou não apresentar acúmulo de ferro. De maneira geral a composição granulométrica tem o predomínio da fração areia. São solos muito pobres e ácidos (EMBRAPA, 2011).
- Gleissolos são caracterizados pelo baixo grau de desenvolvimento pedogenético sob condições hidromórficas. Apresentam grande variabilidade quanto a sua composição química e física em decorrência da natureza do material depositado em ambiente de várzea ou depressão (EMBRAPA, 2011).
- Luvisolos possui estrutura bem desenvolvida e alta fertilidade química natural. Identificados pelo aumento significativo dos teores de argila nos horizontes subsuperficiais, apresentam, em muitos casos, mudança textural abrupta. De maneira geral são rasos, de coloração avermelhada ou amarelada, com estrutura bem desenvolvida do tipo blocos ou prismas em subsuperfície (EMBRAPA, 2011).
- Neossolos são solos pouco evoluídos pedogeneticamente e com ausência de horizontes diagnósticos subsuperficiais, seja pela reduzida atuação dos processos de pedogenéticos ou ação dos fatores de formação. São jovens, constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de

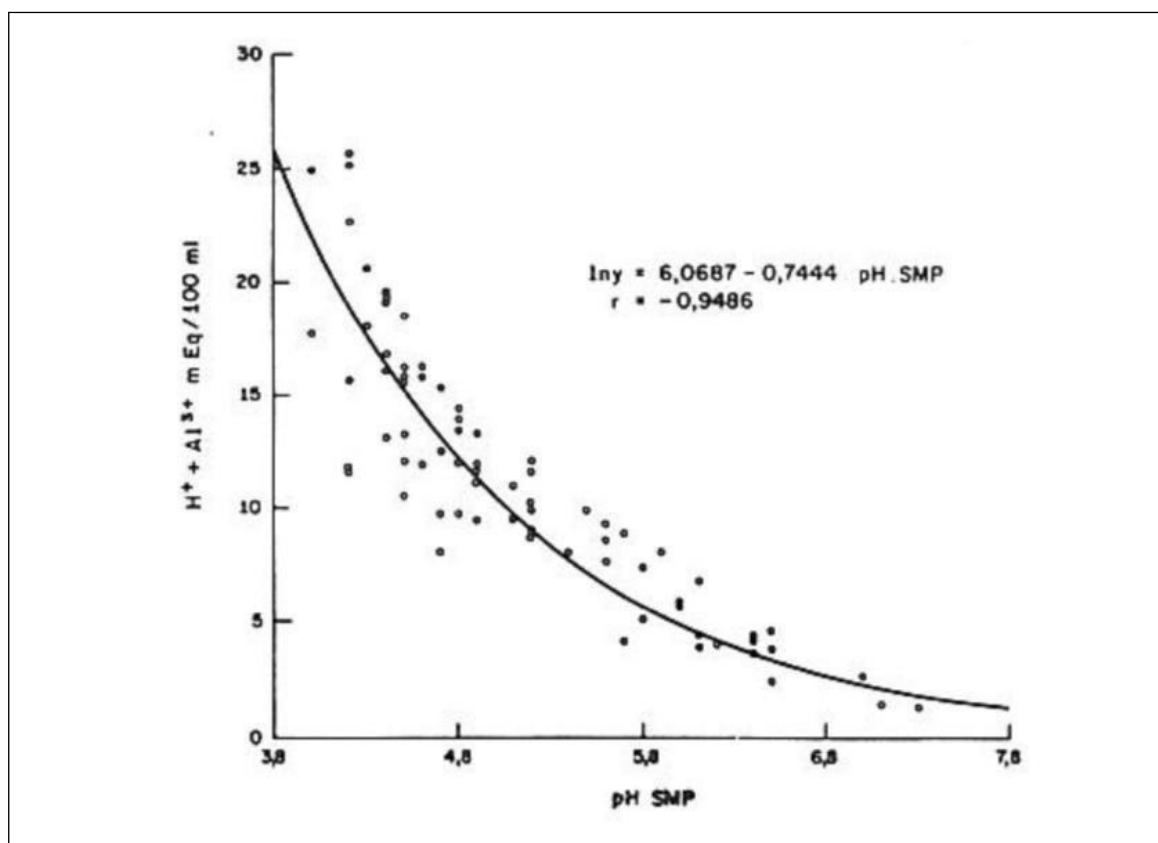
espessura(EMBRAPA, 2011).

Organossolos são formados por elevados teores de matéria orgânica, oriunda da deposição e acúmulo de resíduos vegetais, com ou sem mistura de materiais minerais. O acúmulo de material orgânico pode ocorrer em condições de drenagem livre, em altitudееlevada e com baixas temperaturas, ou com forte restrição de drenagem, como nas baixadas ou depressões. Possui elevados teores de carbono e coloração preta, cinzenta muito escura ou brunada, resultantes de acumulação de restos vegetais(EMBRAPA, 2011).

- Planossolos apresentam textura predominantemente arenosa em superfície, com grande aumento de argila em subsuperfície e mudança textural abrupta ou transição abrupta com gradiente textural. São adensados em subsuperfície e extremamemto duros quando secos e frequentemente com estrutura prismática ou colunar em subsuperfície. A baixa permeabilidade em subsuperfície condiciona ciclos de redução e oxidação do ferro, propiciando as cores acinzentadas ou variegadas e mosqueados. De maneira geral observa-se um horizonte eluvial e de cor clara sobrepondo o horizonte subsuperficial (EMBRAPA, 2011).
- Plintossolos são pobres em carbono orgânico e ricos em ferro, ou ferro e alumínio, com quartzo e outros materiais. Frequentemente são ácidos e com baixa reserva de nutrientes (EMBRAPA, 2011).
- Vertissolos são de coloração acinzentada ou preta, sem diferença significativa no teor de argila entre a parte superficial e a subsuperficial do solo. São de elevada fertilidade química, relacionados aos calcários e sedimentos argilosos ricos em cálcio, magnésio e rochas



básicas, mas apresentam problemas de natureza física, como baixa permeabilidade, textura muito pesada e drenagem lenta (EMBRAPA, 2011).

**ANEXO B - Curva de calibração do  $H^+ + Al^{3+}$  pelo pH SMP.**

Fonte: PAVAN, et al., 1992.

## ANEXO C – Tabela das duplicatas.

<b>Solo 1 - Incubação</b>														
Repetição de pH														
Horizonte A	A		B		C		D		E		F		G	
<b>SMP</b>	4,78	4,78	5,06	5,07	5,33	5,27	5,63	5,67	6,07	6,07	6,33	6,37	6,73	6,73
<b>IPR/UEM</b>	4,79	4,80	5,11	5,11	5,34	5,34	5,69	5,70	6,07	6,07	6,33	6,34	6,69	6,69
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	3,89	3,95	4,36	4,34	4,66	4,71	5,22	5,18	5,56	5,53	6,20	6,25	6,89	6,91
<b>Solo 1 - Incubação</b>														
Repetição de pH														
Horizonte B	A		B		C		D		E		F		G	
<b>SMP</b>	5,48	5,48	5,93	5,94	6,30	6,30	6,61	6,61	6,93	6,96	7,13	7,14	7,25	7,26
<b>IPR/UEM</b>	5,51	5,49	5,88	5,88	6,26	6,25	6,48	6,50	6,79	6,80	7,01	7,01	7,15	7,15
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,04	4,12	4,76	4,72	5,44	5,52	6,08	6,10	6,67	6,62	7,12	7,10	7,40	7,45
<b>Solo 2 - Incubação</b>														
Repetição de pH														
Horizonte A	A		B		C		D		E		F		G	
<b>SMP</b>	4,79	4,78	5,16	5,14	5,57	5,58	5,84	5,87	6,16	6,17	6,44	6,42	6,57	6,54
<b>IPR/UEM</b>	4,74	4,71	5,05	5,06	5,48	5,48	5,82	5,82	6,12	6,13	6,39	6,39	6,55	6,54
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	3,94	3,92	4,50	4,45	5,10	5,00	5,60	5,65	5,98	6,02	6,51	6,47	6,82	6,77
<b>Solo 2 - Incubação</b>														
Repetição de pH														
Horizonte B	A		B		C		D		E		F		G	
<b>SMP</b>	4,75	4,75	5,26	5,27	5,75	5,74	6,17	6,15	6,40	6,41	6,67	6,68	6,90	6,92
<b>IPR/UEM</b>	4,86	4,84	5,36	5,34	5,79	5,79	6,18	6,18	6,45	6,44	6,70	6,71	6,93	6,93
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	3,90	3,86	4,50	4,57	5,18	5,20	5,88	5,82	6,37	6,38	6,89	6,93	7,35	7,33
<b>Solo 3 - Incubação</b>														
Repetição de pH														
Horizonte A	A		B		C		D		E		F		G	
<b>SMP</b>	5,75	5,77	5,83	5,81	5,93	5,94	6,09	6,08	6,10	6,09	6,27	6,30	6,38	6,38
<b>IPR/UEM</b>	5,73	5,75	5,78	5,76	5,98	5,98	6,10	6,10	6,09	6,08	6,24	6,25	6,33	6,34
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	5,09	5,05	5,11	5,08	5,44	5,53	5,74	5,78	5,77	5,83	6,10	6,06	6,38	6,36
<b>Solo 3 - Incubação</b>														
Repetição de pH														
Horizonte B	A		B		C		D		E		F		G	

<b>SMP</b>	5,42	5,43	5,74	5,73	5,95	5,95	6,20	6,21	6,40	6,41	6,54	6,55	6,69	6,69
<b>IPR/UEM</b>	5,43	5,43	5,72	5,72	5,94	5,94	6,16	6,16	6,35	6,34	6,47	6,47	6,66	6,61
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,60	4,58	5,01	5,09	5,46	5,41	5,88	5,90	6,23	6,19	6,50	6,47	6,70	6,78

---

**Solo 4 - Incubação**

---

Horizonte	Repetição de pH													
	A	A	B	B	C	C	D	D	E	E	F	F	G	G
<b>SMP</b>	4,71	4,70	4,75	4,75	4,96	4,95	5,16	5,16	5,34	5,37	5,58	5,58	5,80	5,81
<b>IPR/UEM</b>	4,67	4,66	4,71	4,71	4,89	4,89	5,03	5,03	5,22	5,26	5,45	5,46	5,66	5,67
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,22	4,26	4,30	4,32	4,55	4,64	4,86	4,79	5,08	5,11	5,45	5,39	5,80	5,80

---

**Solo 4 - Incubação**

---

Horizonte	Repetição de pH													
	B	A	B	B	C	C	D	D	E	E	F	F	G	G
<b>SMP</b>	4,77	4,77	5,04	5,04	5,27	5,29	5,53	5,53	5,83	5,83	6,13	6,13	6,37	6,38
<b>IPR/UEM</b>	4,73	4,73	5,01	5,01	5,24	5,25	5,48	5,49	5,76	5,77	6,03	6,03	6,24	6,24
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,12	4,17	4,50	4,48	4,86	4,78	5,09	5,13	5,49	5,48	5,97	6,01	6,34	6,34

---

**Solo 5 - Incubação**

---

Horizonte	Repetição de pH													
	A	A	B	B	C	C	D	D	E	E	F	F	G	G
<b>SMP</b>	4,94	4,96	5,16	5,17	5,45	5,46	5,73	5,74	5,99	5,99	6,25	6,26	6,41	6,43
<b>IPR/UEM</b>	4,91	4,90	5,11	5,12	5,38	5,39	5,63	5,64	5,86	5,87	6,10	6,11	6,29	6,30
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,12	4,09	4,40	4,48	4,88	4,83	5,19	5,23	5,60	5,58	6,03	5,96	6,30	6,36

---

**Solo 5 - Incubação**

---

Horizonte	Repetição de pH													
	B	A	B	B	C	C	D	D	E	E	F	F	G	G
<b>SMP</b>	5,08	5,06	5,38	5,39	5,77	5,77	6,11	6,13	6,34	6,34	6,58	6,58	6,79	6,80
<b>IPR/UEM</b>	5,05	5,06	5,36	5,36	5,69	5,70	5,99	6,00	6,21	6,21	6,44	6,44	6,65	6,64
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,15	4,19	4,58	4,62	5,15	5,11	5,55	5,65	5,99	5,98	6,47	6,50	6,85	6,91

---

**Solo 6 - Incubação**

---

Horizonte	Repetição de pH													
	A	A	B	B	C	C	D	D	E	E	F	F	G	G
<b>SMP</b>	5,42	5,43	5,73	5,73	5,99	5,99	6,30	6,31	6,45	6,45	6,66	6,65	6,83	6,84
<b>IPR/UEM</b>	5,53	5,55	5,82	5,81	6,07	6,07	6,39	6,39	6,54	6,55	6,71	6,71	6,87	6,87
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,66	4,74	5,19	5,19	5,59	5,55	5,94	5,95	6,31	6,39	6,69	6,72	7,03	6,96

---

**Solo 6 - Incubação**

---

Horizonte	Repetição de pH													
-----------	-----------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

	B	A	B	C	D	E	F	G						
<b>SMP</b>	4,80	4,77	5,34	5,34	5,84	5,84	6,32	6,32	6,72	6,72	7,02	7,03	7,13	7,13
<b>IPR/UEM</b>	4,95	4,95	5,49	5,49	5,96	5,96	6,39	6,40	6,77	6,78	7,07	7,07	7,17	7,17
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,04	4,06	4,67	4,59	5,29	5,24	5,90	5,94	6,70	6,72	7,25	7,36	7,42	7,48

---

**Solo 7 - Incubação**

---

Horizonte	Repetição de pH													
A	A	B	C	D	E	F	G							
<b>SMP</b>	4,98	4,95	5,21	5,21	5,44	5,43	5,60	5,59	5,80	5,80	6,03	6,03	6,16	6,16
<b>IPR/UEM</b>	5,08	5,05	5,39	5,41	5,60	5,60	5,80	5,80	6,04	6,07	6,31	6,31	6,39	6,41
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,69	4,63	4,95	4,98	5,20	5,24	5,40	5,41	5,74	5,66	6,05	6,05	6,24	6,26

---

**Solo 7 - Incubação**

---

Horizonte	Repetição de pH													
B	A	B	C	D	E	F	G							
<b>SMP</b>	5,27	5,26	5,60	5,60	5,92	5,92	6,21	6,21	6,44	6,45	6,66	6,66	6,82	6,82
<b>IPR/UEM</b>	5,48	5,48	5,78	5,78	6,05	6,05	6,27	6,28	6,48	6,51	6,71	6,71	6,87	6,87
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,20	4,30	4,80	4,74	5,30	5,25	5,82	5,78	6,23	6,16	6,60	6,64	6,91	6,99

---

**Solo 8 - Incubação**

---

Horizonte	Repetição de pH													
A	A	B	C	D	E	F	G							
<b>SMP</b>	5,86	5,95	6,22	6,22	6,63	6,64	7,00	7,01	7,26	7,25	7,31	7,31	7,37	7,37
<b>IPR/UEM</b>	5,96	5,96	6,25	6,20	6,61	6,62	6,97	6,94	7,21	7,22	7,34	7,34	7,37	7,37
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	3,85	3,84	4,40	4,45	5,15	5,10	6,10	6,14	6,83	6,85	7,15	7,15	7,28	7,36

---

**Solo 8 - Incubação**

---

Horizonte	Repetição de pH													
B	A	B	C	D	E	F	G							
<b>SMP</b>	6,27	6,28	6,83	6,86	7,25	7,25	7,40	7,41	7,44	7,43	7,43	7,43	7,42	7,43
<b>IPR/UEM</b>	6,31	6,31	6,85	6,85	7,27	7,28	7,44	7,45	7,45	7,46	7,45	7,46	7,46	7,46
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	3,93	3,97	5,10	5,06	6,78	6,75	7,50	7,50	7,48	7,52	7,55	7,57	7,51	7,57

---

**Solo 9 - Incubação**

---

Horizonte	Repetição de pH													
A	A	B	C	D	E	F	G							
<b>SMP</b>	5,23	5,23	5,91	5,91	6,63	6,63	7,00	7,00	7,16	7,17	7,23	7,22	7,28	7,29
<b>IPR/UEM</b>	5,35	5,30	5,97	5,96	6,58	6,58	6,97	6,97	7,14	7,13	7,21	7,20	7,25	7,26
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	3,74	3,78	4,82	4,88	6,00	6,07	6,92	6,88	7,28	7,27	7,29	7,37	7,40	7,42

---

**Solo 9 - Incubação**

---

Horizonte	Repetição de pH													
-----------	-----------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

	B	A	B	C	D	E	F	G						
<b>SMP</b>	5,58	5,54	6,12	6,15	6,73	6,74	7,13	7,14	7,26	7,26	7,29	7,29	7,30	7,31
<b>IPR/UEM</b>	5,60	5,59	6,18	6,16	6,71	6,73	7,14	7,15	7,29	7,30	7,32	7,32	7,34	7,33
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	3,80	3,82	4,84	4,80	5,90	5,93	7,12	7,08	7,40	7,42	7,50	7,44	7,51	7,47
<b>Solo 10 - Incubação</b>														
<b>Horizonte</b>	Repetição de pH													
<b>A</b>	A	B	C	D	E	F	G							
<b>SMP</b>	5,68	5,66	5,93	5,94	6,20	6,19	6,23	6,24	6,35	6,36	6,74	6,74	6,81	6,81
<b>IPR/UEM</b>	5,76	5,77	6,05	6,04	6,31	6,30	6,31	6,32	6,42	6,44	6,75	6,77	6,82	6,83
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,70	4,74	5,16	5,10	5,50	5,55	5,62	5,58	5,92	5,91	6,50	6,41	6,90	6,88
<b>Solo 10 - Incubação</b>														
<b>Horizonte</b>	Repetição de pH													
<b>B</b>	A	B	C	D	E	F	G							
<b>SMP</b>	5,69	5,69	6,15	6,15	6,47	6,47	6,74	6,75	6,94	6,94	7,12	7,13	7,23	7,23
<b>IPR/UEM</b>	5,79	5,79	6,18	6,18	6,47	6,48	6,77	6,77	6,97	6,97	7,17	7,17	7,29	7,29
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	4,15	4,06	4,90	4,88	5,70	5,78	6,34	6,38	6,93	6,93	7,36	7,32	7,51	7,48

Fonte: Autora, 2023.