



## C A P Í T U L O 2

# Disponibilidade de fósforo (P) no extrato de solo obtido com Mehlich-1 em função do tempo de decantação

**Francisco de Souza Fadigas**

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC) / Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, Bahia, Brasil

**Sandra Maria Conceição Pinheiro**

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC) / Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, Bahia, Brasil

**Gláucia Silva de Jesus Pereira**

Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB) / Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, Bahia, Brasil

**Luan Silva Sacramento**

Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB) / Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, Bahia, Brasil

**Resumo:** A extração de fósforo de amostras de solo utilizando a solução extratora Mehlich-1 tem sido amplamente estudada e modificada desde sua versão original formulada por Mehlich (1953). Uma das etapas que demanda maior aprofundamento é a decantação dos extratos, necessária para a posterior determinação do teor de fósforo. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do tempo de decantação e da filtração dos extratos sobre o teor de P no solo, bem como sobre a turbidez e a acidez dos extratos durante a etapa de decantação. Foram analisadas amostras da camada de 0-20 cm de um Cambissolo Háplico Distrófico petroplíntico (CXbd) e de um Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (LAdx). As amostras foram agitadas por 5 min com solução Mehlich 1 (relação solo:extrator de 1:10) em mesa agitadora orbital a 180 opm e, então, decantadas por até 16 horas, com 3 repetições. Foram medidas a turbidez dos extratos (NTU), o teor de P (mg dm<sup>-3</sup>) em extratos filtrados e não filtrados, o pH e a acidez titulável dos extratos. Observou-se que a turbidez dos extratos diminuiu progressivamente com o tempo de decantação. Os teores de P no extrato aumentaram ao longo do tempo de decantação em ambos os solos, indicando que a solução Mehlich-1 extrai continuamente o P do solo durante a decantação do extrato. O pH dos extratos sofreu pequenas variações durante a

decantação, o mesmo acontecendo em relação à acidez titulável. Com base na redução da turbidez e na estabilização dos teores de fósforo, os resultados indicam que um tempo mínimo de decantação entre 10 e 12 horas é suficiente para a obtenção de extratos límpidos. Nesta condição, o uso da filtração torna-se opcional.

**Palavras-chave:** teor de fósforo, extração de fósforo, filtração, turbidez.

## Availability of phosphorus (P) in soil extract obtained with Mehlich-1 as a function of settling time

**Abstract:** The extraction of phosphorus from soil samples using the Mehlich-1 extractant solution has been widely studied and modified since its original formulation by Mehlich (1953). One of the stages that requires further investigation is the decantation of the extracts, which is necessary for the subsequent determination of phosphorus content. This study aimed to evaluate the effect of decantation time and extract filtration on soil phosphorus content, as well as on the turbidity and acidity of the extracts during the decantation stage. Samples from the 0–20 cm layer of a Petroplinthic Dystric Cambisol Loamic and a Xanthic Ferralsol Loamic Densic Dystric were analyzed. The samples were shaken for 5 minutes with Mehlich-1 solution (soil-to-extractant ratio of 1:10) on an orbital shaker at 180 rpm and then decanted for up to 16 hours, with 3 replications. The turbidity of the extracts (NTU), the phosphorus content ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) in filtered and unfiltered extracts, the pH, and the titratable acidity of the extracts were measured. It was observed that the turbidity of the extracts progressively decreased with decantation time. Phosphorus concentrations in the extract increased over the decantation period in both soils, indicating that the Mehlich-1 solution continues to extract phosphorus from the soil during extract decantation. The pH of the extracts showed slight variation during decantation, as did the titratable acidity. Based on the reduction in turbidity and the stabilization of phosphorus levels, the results indicate that a minimum decantation time of 10 to 12 hours is sufficient to obtain clear extracts. Under this condition, filtration becomes optional.

**Keywords:** phosphorus content, phosphorus extraction, filtration, turbidity.

## 1. INTRODUÇÃO

A extração de fósforo de amostras de solo usando a solução extratora Mehlich-1 tem sido amplamente estudada e modificada ao longo do tempo, desde sua formulação original proposta por Mehlich (1953). Para o método de extração de fósforo (P) descrito no *Manual de métodos de análise de solo* (Teixeira et al., 2017), bem como em outras fontes, se recomenda agitar a suspensão solo e extrator por 5 min e deixar decantar por 16 horas - período equivalente a uma noite - antes de pipetar o sobrenadante (Silva, 2009; Raposo, 2014; Silva, 2018; Meneghetti, 2018; Sá; Guedes, 2023).

A decantação tem como objetivo obter extratos límpidos, o que é essencial para a etapa seguinte de determinação do teor de P no extrato de solo por espectrofotometria de absorção molecular, pelo método do azul de molibdênio (Sobral, 2016). No entanto, há indicações na literatura que recomendam a filtração do extrato logo após a agitação, quando se pretende fazer a determinação do P e de outros elementos como K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu e Zn em um único extrato, por meio da técnica de espectrometria de emissão ótica com plasma de acoplamento indutivo (ICP-AES). (Mylavarapu; Miller, 2014; Virginia Cooperative Extension, 2019).

A extração com a solução Mehlich-1, cujo pH é de aproximadamente 1,2 (Mylavarapu; Miller, 2014), destaca-se entre os métodos ácidos de extração de P disponível, devido à sua simplicidade e, principalmente, por permitir a obtenção de extratos límpidos por decantação, dispensando o uso de papel de filtro (Raij *et al.*, 1984; Raij *et al.*, 1987; Tedesco *et al.*, 1995). Além disso, o método apresenta ainda como vantagens a facilidade de execução e o baixo custo analítico, quando comparado com metodologias de extração mais complexas.

O método de extração com solução Mehlich-1 baseia-se na dissolução de minerais do solo contendo P e/ou no deslocamento desse elemento que se encontra adsorvido nas superfícies sólidas do solo para a solução, por ânions capazes de competir com o P pelos sítios de retenção (Teixeira *et al.*, 2017). O mecanismo de dessorção/extração é baseado na solubilização do P por efeito do pH, que se situa entre 2 e 3 no extrato, sendo o papel do SO<sub>4</sub>-2 restringir o processo de readsorção dos fosfatos recém-extraídos da fase sólida do solo (Silva, 2009). Na extração com Mehlich-1 há possibilidade de haver readsorção de parte do P extraído durante as 16 horas de decantação (Gatiboni *et al.*, 2005; Steiner *et al.*, 2012), fenômeno este de ocorrência menos expressiva quando se usa outros extratores. A adsorção de P durante o processo de extração do Mehlich-1 é um fenômeno conhecido como quimissorção, no qual, após a dessorção, parte do P extraído retorna aos sítios de adsorção por afinidade química entre estes (Meurer, 2017).

O fósforo no solo encontra-se na solução como íons ortofosfatos, derivados do ácido ortofosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), que pode ocorrer no solo em formas orgânicas ou inorgânicas, e a disponibilidade da forma inorgânica é maior com o aumento no teor de matéria orgânica no solo e com a diminuição do pH (Tiecher *et al.*, 2023). Maior teor de matéria orgânica no solo contribui para reduzir a sorção de fósforo nos solos, aumentando sua disponibilidade para as plantas (Cardoso, 2021).

Extratores ácidos, como o Mehlich-1, atuam solubilizando as formas de fosfato ligadas ao Cálcio (P-Ca) em proporção maior que as formas ligadas ao Ferro (P-Fe) e ao Alumínio (P-Al) (Freitas, 2012; Meneghetti, 2018). Por este motivo, Raij *et al.* (1984) recomendam que os extratores ácidos sejam pouco utilizados para avaliar o P disponível em solos com predominância das formas P-Ca, em suas condições naturais, ou naqueles que receberam fosfatos naturais.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do tempo de decantação e da filtração das amostras no teor de P no extrato de solo, como também avaliar a variação da turbidez e do pH dos extratos durante a decantação.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de solo foram secas em estufa a 40°C, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Embora o método descrito no *Manual de métodos de análise de solo* (Teixeira et al., 2017) recomende tomar 5 g de solo (TFSA), nestes ensaios foram utilizadas amostras de 5 cm<sup>3</sup>, medidas em cachimbo coletor, a fim de facilitar a comparação com outros resultados descritos na literatura. A etapa de extração foi conduzida em mesa agitadora orbital programável, a 180 opm, por 5 min, sendo utilizados Erlenmeyer de 125 mL contendo 50 mL da solução extratora Mehlich-1 e 5 cm<sup>3</sup> de solo. Foram utilizadas três repetições por tratamento.

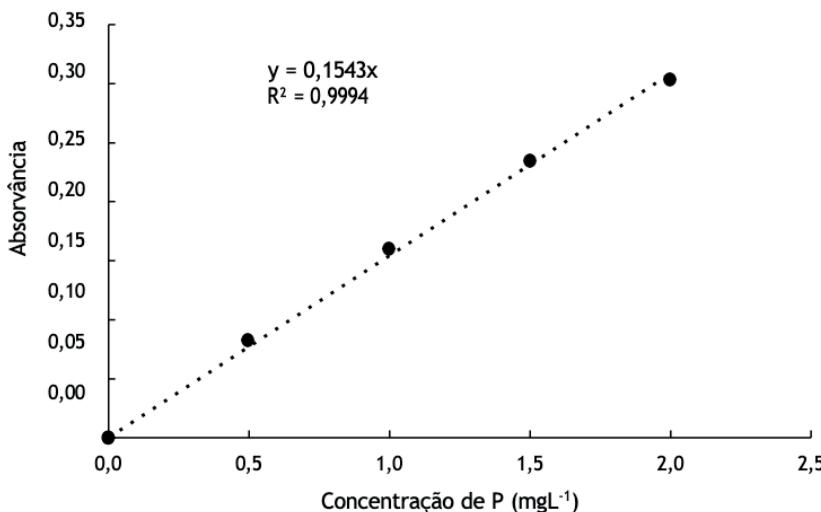
Para avaliar o efeito dos tratamentos, foram coletadas amostras de solos representativos dos Tabuleiros Interioranos do Recôncavo Baiano, na profundidade de 0 a 20 cm. Os solos selecionados foram um Cambissolo Háplico Distrófico petroplíntico (CXbd) e um Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (LAdx). As Tabelas 1 e 2 apresentam algumas das principais características físicas e químicas desses solos.

**Experimento 1.** Neste estudo, determinou-se a turbidez dos extratos no tempo inicial, 2 horas após agitação e, posteriormente, a cada 2 horas, até atingir o tempo máximo de 16 horas de decantação. As medidas foram feitas em turbidímetro calibrado com os padrões 0,1, 10, 100 e 1000 NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez). Logo após a medição da turbidez, os extratos de solo foram filtrados em filtros de papel qualitativo com 9 cm de diâmetro e gramatura de 80 g.m<sup>2</sup>, previamente lavados com AlCl<sub>3</sub> a 0,2 % (Mehlich, 1984) e, em seguida, submetidos a lavagem com água deionizada. Uma segunda alíquota do extrato não filtrado foi coletada a cada intervalo de tempo (2 horas) para a dosagem do teor de Fósforo

(P). A determinação do P foi realizada por espectrofotometria de absorção molecular a 660 nm, usando o método do azul de molibdênio. O ajuste do zero do aparelho foi feito com o branco do reagente (solução extratora + molibdato diluído + ácido ascórbico).

As soluções para extração e quantificação de P foram preparadas segundo orientações contidas no *Manual de métodos de análise de solo* (Teixeira et al., 2017), sendo a curva de calibração obtida com os padrões de concentração 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 mg L<sup>-1</sup> de P (Figura 1) As misturas para leitura das absorbâncias foram preparadas em tubos de vidro de 15 mL com tampa rosqueada, contendo 2,5 mL do extrato de solo, 5,0 mL de solução de molibdato de amônio diluída e 15 mg de ácido ascórbico.

**Figura 1.** Curva de calibração para o fósforo (P) obtida pelo método do azul de molibdênio com absorbâncias medidas a 660 nm



Autor: Francisco Fadigas (2025)

Os resultados das medidas da turbidez e dos teores de P no solo foram submetidos a uma análise de regressão, utilizando a planilha eletrônica Excel (Microsoft Corporation, 2024). Os teores de P no solo também foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA), adotando-se um esquema fatorial em delineamento inteiramente casualizado (DIC). As comparações entre todas as possíveis combinações das médias dos fatores foram realizadas pelo teste de Tukey, permitindo a identificação de diferenças significativas entre grupos específicos. Para todas as análises estatísticas, adotou-se um nível de significância de 5%. Os procedimentos foram conduzidos no software RStudio (versão 2025.05.0, de distribuição gratuita), com o auxílio do pacote ExpDes.pt (Ferreira et al., 2025).

**Experimento 2.** No segundo estudo foram avaliadas a variação do pH, a acidez titulável ( $\text{cmolc L}^{-1}$ ) e o teor de P ( $\text{mg L}^{-1}$ ), exclusivamente nos extratos obtidos por decantação. As análises foram conduzidas em intervalos de 4 horas, até completar 24 horas de decantação, com três repetições. Foram mantidas as mesmas amostras de solos e as condições experimentais previamente adotadas no Experimento 1. As determinações de pH foram efetuadas em pHmetro de bancada, utilizando alíquotas de 5 mL do extrato decantado. A acidez titulável foi quantificada por titulação de 2,5 mL do extrato de solo com solução padrão de NaOH 0,1000 molL $^{-1}$ , empregando-se fenolftaleína a 0,5 % como indicador. Os resultados obtidos para acidez foram expressos em molL $^{-1}$ .

Assim como no Experimento 1, os teores de P no solo foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando-se um esquema fatorial em delineamento inteiramente casualizado (DIC). As médias dos tratamentos foram comparadas por meio do teste de Tukey, com o objetivo de identificar diferenças significativas entre os grupos. Adotou-se o nível de significância de 5% para todas as análises estatísticas. As análises foram realizadas no software RStudio (versão 2025.05.0, de uso gratuito), com o suporte do pacote ExpDes.pt (Ferreira *et al.*, 2011). Um estudo de regressão linear foi aplicado aos resultados para descrever a variação do teor de P nos solos, ao longo do tempo de decantação, utilizando a planilha eletrônica Excel (Microsoft Corporation, 2024).

**Tabela 1.** Localização, composição granulométrica e teor de Carbono (C<sub>Org</sub>) na camada de 0 a 20 cm de profundidade dos solos utilizados no estudo

Solo	Localização (Coordenadas Geográficas)	Granulometria			C <sub>Org</sub> (g.Kg <sup>-1</sup> )
		Argila	Silte	Areia	
CXbd	S 12°39' 40,5" W 039°04'42,3"	468	103	429	12,8
LAdx2	S 12°39'42,4" W 039°04'42,4"	243	118	639	13,0

Autor: Francisco Fadigas (2025)

**Tabela 2.** Resultados das análises químicas dos solos utilizados no estudo

Característica química	Amostra de solo	
	CXbd	LAdx2
pH (H <sub>2</sub> O)	4,5	5,2
P (mg dm <sup>-3</sup> )	5,0	5,0
K (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,18	0,14
Ca (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,94	2,36
Mg (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,64	0,90
Ca+ Mg (cmolc dm <sup>-3</sup> )	1,57	3,26
Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	1,0	0,2
Na (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,03	0,02
Al + H (cmolc dm <sup>-3</sup> )	3,96	2,88
SB <sup>1</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> )	1,78	3,42
CTC <sup>2</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> )	5,74	6,30
V <sup>3</sup> (%)	31	54
MO <sup>4</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	13,0	19,3

Autor: Francisco Fadigas

Nota: <sup>1</sup>SB - soma de bases; <sup>2</sup>CTC – capacidade de troca de cátions; <sup>3</sup>V – saturação por bases;

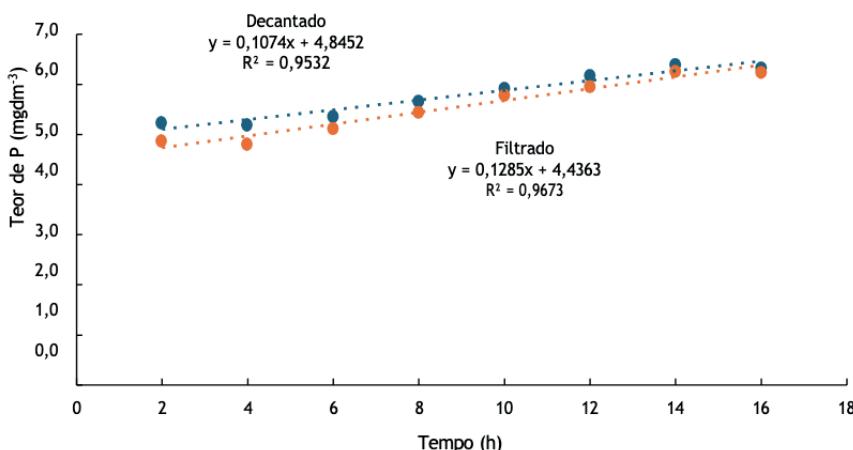
<sup>4</sup>MO – matéria orgânica do solo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Efeito da decantação dos extratos por 16 h, com e sem filtração.

Nas Figuras 2 e 3 é apresentada a variação do teor de P em função do tempo de decantação para os solos em estudo. Os teores de P no extrato do Cambissolo, 2 h após a agitação das amostras, foram maiores que os obtidos ao longo do tempo de decantação, o que provavelmente ocorreu devido à presença de partículas em suspensão no extrato de solo, mesmo quando o extrato foi submetido à filtração. Os teores de P no extrato a partir de 10 h de decantação foram muito próximos, com e sem filtração, sofrendo uma pequena variação a partir desse tempo (Figura 2), mas continuaram aumentando até as 16 h de observação.

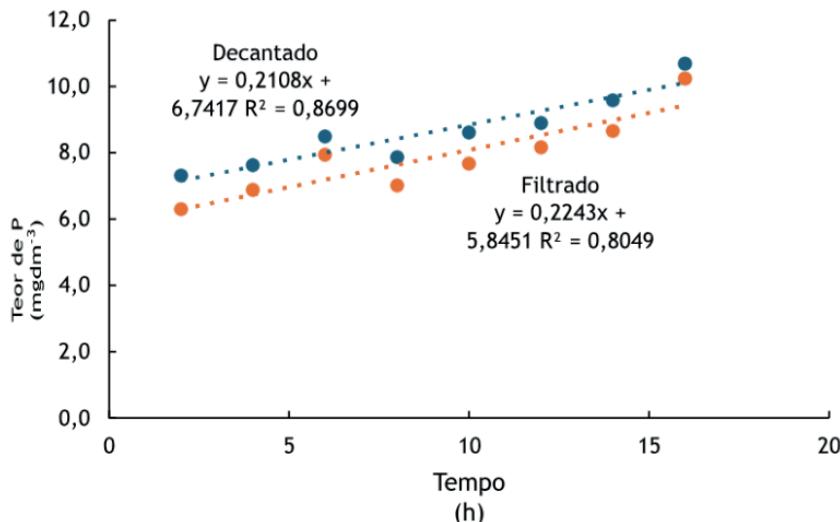
**Figura 2.** Variação na concentração de P em função do tempo de decantação do extrato de um Cambissolo Háplico Distrófico petróplítico (CXbd)



Autor: Francisco Fadigas (2025)

No Latossolo, os teores de P continuaram aumentando desde 2 horas após agitação até as 16 h de decantação (Figura 3). Os resultados indicam que a solução Mehlich-1 continua extraíndo mais P ao longo do tempo de decantação, o que contraria a ideia geral de que ocorreria readsorção do P durante o repouso do extrato (Freitas, 2012). Em solos altamente intemperizados, de carga variável e ricos em argilominerais 1:1 e óxidos, quando o pH está abaixo do ponto de carga zero (PCZ) do solo, as cargas são predominantemente positivas, criando condições que favorecem a fixação dos fosfatos (Tiecher, 2015), o que não ocorreu com os solos deste estudo. Na quimissorção de ânions ou adsorção específica, há alta especificidade entre o grupo funcional da superfície dos coloides do solo e o ânion, com tendência à irreversibilidade, sendo a reação favorecida em condições de pH ácido (Tiecher *et al.*, 2023).

**Figura 3.** Variação na concentração de P em função do tempo de decantação do extrato de um Latossolo Amarelo Distroesco argissólico (LAdx)



Autor: Francisco Fadigas (2025)

Diversos autores argumentam sobre a possibilidade de perda do poder de extração da solução Mehlich-1 (que possui um pH de 1,2 em uma solução não tamponada) em função de dois fatores: o primeiro é o pH da suspensão solo-extrator, que, nos solos mais argilosos, eleva-se rapidamente, aproximando-se do pH do solo, resultando em menor dissolução das formas solúveis em meio ácido, como o P-Ca. A segunda razão é o consumo do  $\text{SO}_4^{2-}$ , que, em solos mais argilosos, pode ocupar sítios de adsorção ainda não ocupados pelo fosfato, reduzindo o poder de extração (Gatiboni *et al.*, 2005; Novais *et al.*, 2007; Freitas, 2012), além de ter como função evitar a readsorção do P recém extraído. Todavia, o Latossolo em estudo possui um teor de argila relativamente baixo (243 g kg<sup>-1</sup>), não havendo, neste caso, perda do poder de extração da solução Mehlich-1 por efeito do tamponamento do solo ou do excesso de argila. Os dados sugerem que outras formas de P no solo vão sendo solubilizadas ao longo do tempo de decantação, além daquelas que são prontamente dessorvidas ou extraídas por dissolução logo após a agitação das amostras de solos com a solução Mehlich-1. Como os Latossolos do Recôncavo baiano são solos bastante intemperizados (Moreau *et al.*, 2006), é provável que a presença das formas P-Ca já tenha sido amplamente reduzida. Dessa forma, por se tratar de um extrator ácido, é possível que sua ação continue ocorrendo sobre as formas de P não-lábeis ligadas ao Fe e ao Al (Freitas, 2012; Meneghetti, 2018), elevando assim continuamente o teor de P no extrato durante as 16 horas de repouso. Santos *et al.* (2008), trabalhando com a cultura do milho em um Argissolo Vermelho distrófico

típico de textura argilosa (540 g kg<sup>-1</sup>), concluiu que o solo apresentou maior teor de P no compartimento não-lábil e que este compartimento pode contribuir para o suprimento de P para a cultura.

As análises de variância dos teores de P encontrados nas amostras de solo revelam que há diferenças estatisticamente significativas em relação ao tempo de decantação e ao uso de filtração (com e sem) em ambos os solos estudados. Por outro lado, a interação entre tempo de decantação e filtração apresentou diferença estatisticamente significativa apenas no Cambissolo. As Tabelas 3 e 4 apresentam as comparações das médias dos teores de fósforo (P), realizadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, para o Cambissolo e o Latossolo, respectivamente.

Considerando a decantação com filtração do extrato do Cambissolo, observa-se que o teor de P nos tempos 14 e 16 h foram maiores que os demais e não diferem entre si (Tabela 3). O menor teor de P foi encontrado 6 h após a extração e difere do teor médio de todos os demais tempos, embora seja muito próximo do valor encontrado após 8 h. Não houve diferença significativa entre os teores de P obtidos nos tempos 10 e 12 h, ocasião em que a turbidez já havia sido bastante reduzida (Figuras 4 e 5).

Ao analisar os resultados obtidos para o extrato decantado sem filtração, verificou-se que o teor médio de P no início da decantação, ou seja, após 2 h, foi superior aos demais tempos, diferindo estatisticamente das médias dos demais tempos de decantação. Este resultado sugere interferência do material particulado em suspensão na medida da absorvância, resultando em um teor de P superestimado. Os teores de P nos tempos 12, 14 e 16 h não diferiram entre si, mas foram superiores aos encontrados após 10 h de decantação, comportamento distinto do observado na decantação com filtração.

**Tabela 3.** Comparação de médias<sup>1</sup> para o teor de P no Cambissolo Háplico Distrófico petroplíntico (CXbd) em função do tempo de decantação do extrato, com e sem filtração

Tempo de decantação (h)	P (mg dm <sup>-3</sup> ) Com filtração	Tempo de decantação (h)	P (mg dm <sup>-3</sup> ) Sem filtração
14	6,3 a	2	6,8 a
16	6,2 a	14	6,4 b
12	6,0 b	16	6,3 b
10	5,8 bc	4	6,3 b
4	5,6 cd	12	6,2 b
2	5,5 d	10	5,9 c
8	5,4 d	8	5,7 d
6	5,1 e	6	5,4 e

Autor: Francisco Fadigas e Sandra Pinheiro (2025)

Nota: <sup>1</sup> Médias seguidas das mesmas letras, na vertical, não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey a um nível de 5 % de significância.

Diferentemente do verificado no Cambissolo, nas amostras de Latossolo não foi observada interação significativa entre o tempo de decantação e o uso da filtração dos extratos (Tabela 4). De acordo com os resultados do teste de Tukey, o maior teor de fósforo (P) foi obtido após 16 horas de decantação, diferindo significativamente de todos os demais tempos. Após 10 horas de decantação, o teor de P não diferiu daquele obtido com 12 horas, comportamento semelhante ao observado no Cambissolo.

**Tabela 4.** Comparação de médias<sup>1</sup> para o teor de P de um Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (LAdx) em função do tempo de decantação do extrato

Tempo de decantação (h)	P (mg L <sup>-1</sup> )
16	10,5 a
14	9,1 b
12	8,5 bc
6	8,2 bcd
10	8,1 cde
8	7,4 def
4	7,3 ef
2	6,8 f

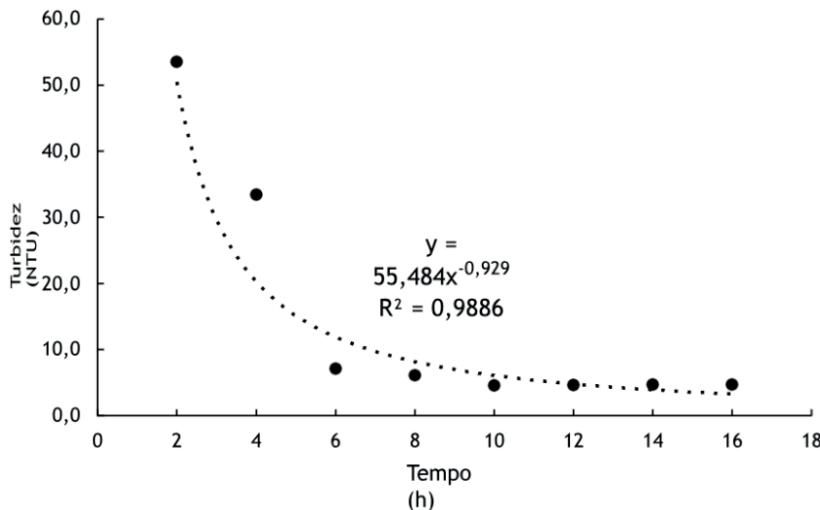
Autor: Francisco Fadigas e Sandra Pinheiro (2025)

Nota: <sup>1</sup> Médias seguidas das mesmas letras, na vertical, não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey a um nível de 5 % de significância.

A turbidez dos extratos foi sendo reduzida ao longo do tempo de decantação e atingiu valores de 4,6 e 4,7 NTU, para o Cambissolo e Latossolo, respectivamente, às 10 h de decantação, representando 1,4% da turbidez inicial no Cambissolo e 0,9% no Latossolo (Figuras 4 e 5). A partir desse tempo, os extratos foram considerados suficientemente límpidos para efetuar a leitura da absorvância nas amostras, uma vez que a turbidez diminuiu relativamente pouco a partir desse ponto até completar 16 h. De acordo com os resultados da análise de variância (ANOVA), há diferenças significativas nos valores da turbidez em relação ao tempo de decantação, sendo os maiores valores encontrados até 4 h após o início do repouso.

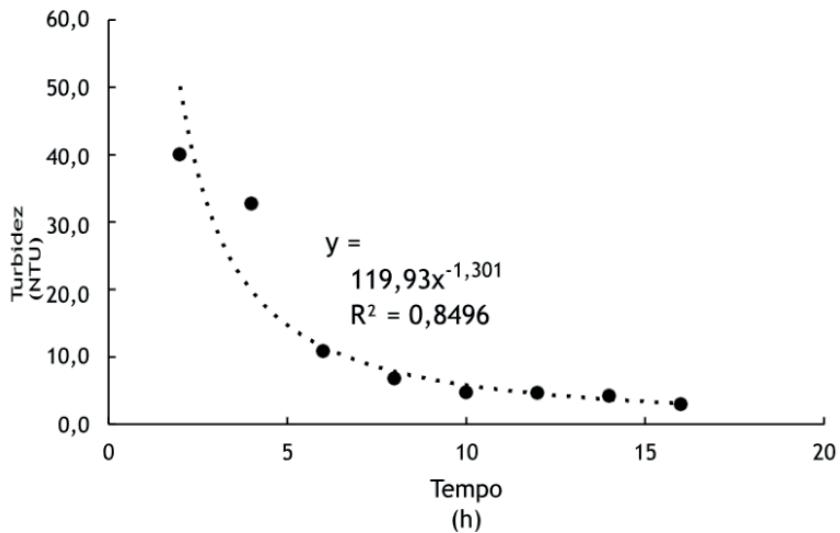
A turbidez final dos extratos foi de 4,7 NTU para o Cambissolo e 3,0 NTU para o Latossolo, valores aproximadamente 74 e 111 vezes superiores, respectivamente, à turbidez observada no branco do reagente (0,07 NTU), após 16 horas de decantação. Embora ainda persista certa turbidez residual após esse período, a maioria dos autores considera que 16 horas são suficientes para a obtenção de extratos em condições adequadas à análise por espectrofotometria de absorção molecular, utilizando o método do azul de molibdênio (Sobral, 2016; Silva, 2018; Meneghetti, 2018).

**Figura 4.** Variação na turbidez do extrato de um Cambissolo Háplico Distrófico petroplíntico (CXbd) durante a decantação



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

**Figura 5.** Variação na turbidez do extrato de um Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (LAdx) durante a decantação



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

### 3.2 Efeito da decantação dos extratos por 24 h, sem filtração.

Os valores do pH pouco se alteraram durante a decantação, variando de 1,28 a 1,39 no extrato obtido a partir do Cambissolo e de 1,30 a 1,38 no extrato do Latossolo (Tabela 5). Todavia, a análise de variância para este fator revelou que houve diferença estatisticamente significativa em relação ao tempo de decantação, mas não houve diferença significativa em relação ao tipo de solo, indicando que, em ambos, o pH variou de forma similar. A interação entre tipo de solo e tempo de decantação também não foi significativa. Os valores iniciais do pH nos extratos foram muito próximos do valor do pH da solução extratora, cuja média de cinco medidas foi igual a 1,2. Esse resultado está de acordo com o observado por Mylavarapu e Miller (2014).

**Tabela 5.** Variação do pH e da acidez titulável dos extratos de solo ao longo do tempo de decantação

Solo	Tempo (h)	pH	Acidez (mol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )
Cambissolo	0	1,28	7,55
	4	1,33	7,48
	8	1,34	7,48
	12	1,39	7,48
	16	1,38	7,69
	20	1,39	7,48
	24	1,39	7,55
Latossolo	0	1,30	7,48
	4	1,34	7,26
	8	1,32	7,26
	12	1,34	7,35
	16	1,38	7,26
	20	1,36	7,42
	24	1,37	7,48

Autor: Francisco Fadigas (2025)

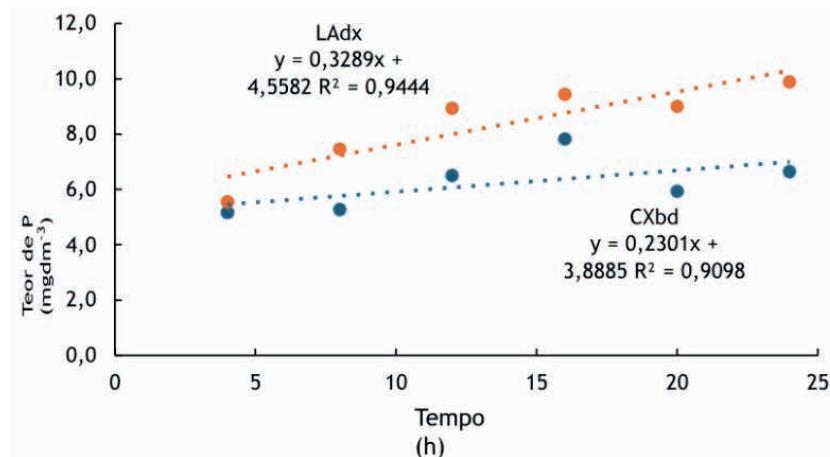
Por outro lado, a acidez variou entre 7,48 e 7,69 molL<sup>-1</sup> no extrato do Cambissolo e de 7,26 a 7,48 no Latossolo (Tabela 5). Não foi encontrada diferença estatisticamente significativa da acidez em relação ao tempo de decantação, nem em relação ao tipo de solo utilizado. A ANOVA também não indicou interação significativa entre essas variáveis em relação à acidez.

Os valores de pH no extrato, ao longo das 24 h de decantação, mostram que houve pouca alteração na acidez ao longo do tempo de contato entre o solo e o extrator. A extração do P do solo com extrator Mehlich-1 se dá em pH variando entre 2 e 3 (Silva, 1991; Teixeira *et al.*, 2017), no entanto, para os solos analisados neste estudo, o pH foi sempre inferior a 2. Possivelmente, estes resultados ocorreram devido à natureza ácida destes solos (pH de 4,5 e 5,2 respectivamente) e também ao teor de argila de 243 g kg<sup>-1</sup> no Latossolo e 468 g kg<sup>-1</sup> no Cambissolo, insuficientes para classificá-los como muito argilosos (Santos *et al.*, 2018) e, consequentemente, incapazes de produzir o degaste do extrator. A ideia geral é que solos com elevados poder tampão e teor de argila sejam capazes de alterar o pH do extrator pelo consumo/neutralização de H<sup>+</sup> com consequente redução no poder de dissolução de fosfatos (Gatiboni *et al.*, 2005; Steiner *et al.*, 2012), ou seja, em solos argilosos, como o poder tampão é mais alto, o extrator é consumido e a capacidade de extrair fósforo diminui (Sobral *et al.*, 2015).

Os valores da turbidez foram determinados 20 horas após a agitação, sendo de 0,4 NTU para o Latossolo e de 0,8 NTU no Cambissolo. Os resultados mostram que o processo de sedimentação de partículas continua ocorrendo após as 16 h de decantação previstas no método de extração (Silva, 2009; Teixeira *et al.*, 2017). Não foi possível determinar corretamente a turbidez após 24 h da agitação, visto que o volume final de extrato era demasiadamente pequeno, por isso, durante a tentativa de pipetar, houve perturbação do material depositado no fundo do Erlenmeyer, resultando na ressuspensão de partículas finas no extrato.

Os teores de fósforo sofreram aumento progressivo ao longo das 24 h de decantação, confirmando a tendência observada no Experimento 1 (Figura 6). As concentrações de P foram numericamente maiores no Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico em relação ao Cambissolo Háplico Distrófico petroplíntico. Entre o tempo de 4 h e 24 h de decantação foi observado um aumento de 22% no teor de P no Cambissolo e de 44 % no Latossolo. Estes resultados também confirmam o comportamento já descrito no Experimento 1, mostrando que o extrator Mehlich-1 continua agindo sobre as partículas do solo, liberando progressivamente mais P para o extrato até as 16 h, e também após esse tempo de decantação.

**Figura 6.** Variação na concentração de P no extrato de um Cambissolo Háplico Distrófico petroplíntico (CXbd) e de um Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (LAdx) durante a decantação



Fonte: Francisco Fadigas (2025)

Considerando os níveis de fósforo no extrato do Cambissolo, em relação aos diferentes tempos de decantação, pode-se afirmar que houve diferença significativa entre o tempo de 16 h e os demais tempos, exceto para o tempo de 24 h (Tabela 6). Os teores de P no solo não variaram de forma significativa nos demais casos, sendo o menor teor de P encontrado quando o extrato foi analisado após 4 h de repouso. Em relação ao Latossolo, o maior teor de P foi detectado 24 h após o início da decantação, sendo esse estatisticamente igual aos teores disponíveis nos tempos 12, 16 e 20 h e superior aos valores dos tempos 4 e 8 h.

**Tabela 6.** Comparação de médias<sup>1</sup> para o teor de P no Cambissolo Háplico Distrófico petroplíntico (CXbd) e em um Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (LAdx) em função do tempo de decantação do extrato

Cambissolo		Latossolo	
Tempo de decantação (h)	P (mg dm⁻³)	Tempo de decantação (h)	P (mg dm⁻³)
16	7,82 a	24	9,9 a
24	6,6 ab	16	9,4 a
12	6,5 bc	20	9,0 a
20	5,9 bcd	12	8,9 a
8	5,3 cd	8	7,4 b
4	5,2 d	4	5,6 c

Autor: Francisco Fadigas e Sandra Pinheiro (2025)

Nota: <sup>1</sup> Médias seguidas das mesmas letras, na vertical, não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey a um nível de 5% de significância.

## 4. CONCLUSÃO

Para os solos deste estudo, a solução Mehlich-1 extraiu continuamente o P ao longo do tempo de decantação, mesmo após as 16 horas de decantação.

Os resultados deste estudo indicam que, considerando os valores de turbidez e o teor de fósforo no extrato, um tempo mínimo de decantação entre 10 e 12 horas é suficiente para a obtenção de extratos límpidos. Nessa condição, a filtração do extrato para a leitura do teor de fósforo torna-se opcional.

## 5. REFERÊNCIAS

CARDOSO, F. S. **Adsorção e dessorção de fosfato em horizontes com diferentes quantidades de matéria orgânica em Latossolos do cerrado no Triângulo Mineiro**. 2021. 53f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2021.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt: Experimental Designs** (Portuguese). R package version 1.2.0. 2011. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>. Acesso em: 20 jun. 2025.

FREITAS, I. F. **Fósforo extraído com resinas trocadoras de íons e Mehlich-1 de latossolos submetidos a fontes e doses de fósforo e tempos de contato**. 2012. 42f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

GATIBONI, L. C.; JOÃO KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R. Modificações nas formas de fósforo do solo após extrações sucessivas com Mehlich-1, Mehlich-3 e resina trocadora de ânions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 363-371, 2005.

MEHLICH, A. **Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH4 by North Carolina soil testing laboratories**. Raleigh: University of North Carolina, 1953.

MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 15, p. 1409-1416, 1984.

MENEGHETTI, A. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise química de plantas, solo e fertilizantes**. Curitiba, PR: EDUTFPR, 2018. 252p.

MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo**. 6. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2017.  
MICROSOFT CORPORATION. **Excel**: software para planilhas eletrônicas. Office 365. Redmond: Microsoft, 2024.

MOREAU, A. M. S. S. et al. Caracterização de solos de duas toposseqüências em tabuleiros costeiros do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 30, p. 1007-1019, 2006.

MYLAVARAPU, R.; MILLER, R. Mehlich-1. In: SIKORA, F. J.; MOORE, K. P. (eds.). **Soil test methods from the southeastern United States**. Virginia, USA: Southern Cooperative Series Bulletin, n. 419, 2014.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-537.

RAIJ, B. van; FEITOSA, C. T.; SILVA, N. M. Comparação de quatro extractores de fósforo de solos. **Bragantia**, v. 43, p.17-29, 1984.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. 1.ed. Fundação Cargill: Campinas, 1987. 170p

RAPOSO, R. W. C. **Metodologias para análise química da fertilidade e salinidade do solo e água**. Areia, PB: UFPB, 2014. 66p.

SÁ, L. P.; GUEDES, J. N. **Manual de rotina**: um guia prático para análises de solos, água, tecido vegetal, biofertilizantes e corretivos. Montes Claros, MG: Editora do IFNMG, 2023. 67p.

SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, J. Z. L. et al. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.705-714, 2008.

SILVA, F. C. da. **Avaliação da disponibilidade de fósforo por diversos extractores em solos cultivados com cana-de-açúcar (Saccharum spp.)**. 1991. 165f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

SILVA, F. C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SILVA, S. B. **Análise de solos para ciências agrárias**. 2. ed. Belém, AM: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018. 167p.

SOBRAL, L. F.; BARRETTO, M. C. V.; SILVA, A. J.; ANJOS, J. L. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos**. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015.13p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, 206).

SOBRAL, L. F. **Extrações com Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em Argissolo fertilizado com zinco, manganês e cobre**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. (Boletim de Pesquisa / Embrapa Tabuleiros Costeiros, 124).

STEINER F.; LANA M. C.; ZOZ, T.; FRANDOLOSO, J. F.; FEY, R. Extraction methods and availability of phosphorus for soybean in soils from Paraná State, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p. 1005-1014, 2012.

TEDESCO J. M. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

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

TIECHER, T. **A química antes da química do solo**. Porto Alegre, RS: URI – Frederico Westph, 2015. [recurso eletrônico].

TIECHER, T.; SILVA, L. S.; MARTINS, A. P.; MALLMANN, F. J. K. **Química do solo**. Santa Maria, RS: SBCS – Núcleo Regional Sul, 2023.

VIRGINIA COOPERATIVE EXTENSION. **Virginia Tech Soil Testing Laboratory**. Virginia State University, 2019. Disponível em: <http://www.ext.vt.edu>. Acesso em: 4 abr. 2025.