1º HIDROGEOMINAS
SIMPÓSIO MINEIRO DE HIDROGEOMORFOLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS
07 – 10 de setembro de 2026
Departamento de Geografia – UFMG
Belo Horizonte - MG

DESLOCAMENTO MISCÍVEL DE CLORETO DE LÍTIO (LiCl) EM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO

Frank Duarte Ussivane [1]
Daniel Enrique Guauque Mellado [2]
Adérito Celestino Cau [3]
Samuel José Marquês Timano [4]
Joao Pedro da Silva Costa [5]
Luiz Antônio Lima [6]
Fábio Ponciano de Deus [7]

RESUMO

O estudo do deslocamento miscível é fundamental para prever o transporte de poluentes no meio poroso, como o cloreto de lítio (LiCl) oriundo do descarte tecnológico. Este trabalho visou avaliar o deslocamento de LiCl em Latossolo Vermelho-Amarelo, determinando parâmetros de transporte e suscetibilidade à lixiviação sob fluxo saturado. A pesquisa utilizou colunas experimentais com 111,11 g de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). O ensaio decorreu em fluxo permanente (steady-state), aplicando-se solução de LiCl a 7,30 mg/L. A concentração do efluente foi determinada em 50 alíquotas por fotometria de chama. A modelação baseou-se na equação de Convecção-Dispersão (CDE), otimizada via Solver. Os resultados revelaram um Fator de Retardamento (R) de 4,38 e um Coeficiente de Dispersão Hidrodinâmica (D) de 3,36 cm²/min, com ajuste robusto (R^2 = 0,93). O elevado R evidenciou forte interação soluto-solo e retardamento acentuado do ião Li^+, com o ponto de inflexão da curva de eluição (C/C_0 = 0,5) a atingir-se aos 4,2 volumes de poros acumulados. Estes achados demonstram que a matriz pedológica atua como barreira eficaz contra a lixiviação para as águas subterrâneas. Contudo, a alta retenção do metal na camada arável alerta para riscos de fitotoxicidade e bioacumulação, exigindo monitorização contínua na interface solo-água-planta.

Palavras-chave: Lixiviação; Curva de eluição; Meio poroso; Hidrogeologia.

INTRODUÇÃO

O estudo do deslocamento de solutos miscíveis no solo constitui uma vertente fundamental da Hidrogeologia e da Ciência do Solo, sendo crucial para a avaliação e previsão do transporte de substâncias dissolvidas no meio poroso (Costa et al., 2006; Reichardt e Timm, 2004). Este conceito

[1] Doutorando do Curso de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Lavras - UFLA, frank.ussivane1@estudante.ufla.br ;
[2] Doutorando do Curso de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Lavras – UFLA, daniel.mellado1@estudante.ufla.br;
[3] Doutorando do Curso de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Lavras - UFLA, aderito.cau1@estudante.ufla.br;
[4] Doutorando do Curso de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Lavras - UFLA, samuel.timano1@estudante.ufla.br;
[5] Doutorando do Curso de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Lavras – UFLA, joao.costa12@estudante.ufla.br;
[6] Professor orientador: Ph.D. em Irrigation and Drainage, Universidade Federal de Lavras – UFLA, lalima@ufla.br;
[7] Professor orientador: Ph.D. em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras – UFLA, fabio.ponciano@ufla.br;

é caracterizado, na prática, pelo movimento de compostos químicos no perfil do solo, sob a ação combinada de difusão molecular, dispersão e fluxo de massa (Oliveira et al., 1999). A compreensão desses processos é vital, especialmente em um cenário de crescente preocupação com contaminantes que podem comprometer a qualidade das águas subterrâneas (Alves et al., 2018).

Os Latossolos representam aproximadamente 39% do território brasileiro, constituindo a ordem pedológica mais expressiva do país (Santos et al., 2018). No estado de Minas Gerais, a dominância dessa classe é igualmente significativa, configurando a cobertura pedológica predominante em mais de 50% do território estadual (UFV et al., 2010). O Latossolo Vermelho-Amarelo é um tipo de solo amplamente distribuído em regiões tropicais, apresenta características como alta porosidade e, em muitos casos, baixos níveis de fertilidade natural, que influenciam diretamente a dinâmica dos solutos (Anami et al., 2008). A movimentação de contaminantes nesse tipo de solo deve ser cuidadosamente investigada, pois a lixiviação de substâncias químicas para o lençol freático é uma preocupação significativa (Souza et al., 2013).

O cloreto de lítio (LiCl) é um sal de interesse crescente na pesquisa ambiental, devido ao aumento exponencial do uso de lítio em baterias e ao seu eventual descarte em aterros sanitários, o que o torna um poluente potencial. Essa dinâmica o torna um poluente potencial, com riscos associados tanto à contaminação hídrica quanto à fitotoxicidade e bioacumulação (Colares et al., 2013; Alcântara et al., 2020). O lítio (Li) é um elemento alcalino que, por sua natureza, pode apresentar alta mobilidade no solo, dependendo das interações com a matriz e das condições do meio (Colares et al., 2013). Os ensaios de deslocamento miscível em colunas são ferramentas amplamente reconhecidas para analisar essa mobilidade, permitindo a determinação de parâmetros que descrevem o transporte e a retenção, como o Fator de Retardamento (R) e o Coeficiente de Dispersão Hidrodinâmica (D) (Wang, 2002; Alves et al., 2018).

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o deslocamento miscível de Cloreto de Lítio (LiCl) em uma amostra de Latossolo Vermelho-Amarelo, determinando seus parâmetros de transporte e avaliando a suscetibilidade do solo à lixiviação desse cátion em condições de fluxo saturado.

MATERIAL E MÉTODOS

Objeto de Estudo

O estudo do deslocamento miscível de LiCl foi conduzido no laboratório de Hidráulica da Seção de Água e Solos do Departamento de Recursos Hídricos (DRH) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), utilizando amostras de solo classificadas como Latossolo Vermelho-Amarelo. O solo

foi preparado por secagem ao ar e tamisado em peneira com malha de 2,0 mm, procedimento comum para amostras deformadas em ensaios de coluna.

Estratégia Experimental

Para a montagem experimental, utilizaram-se cilindros metálicos com diâmetro interno de 4,70 cm, preenchidos até a altura de 5,00 cm. Na base da coluna, utilizou-se uma manta geotêxtil para reter o solo. O Latossolo Vermelho-Amarelo foi acondicionado na coluna com uma massa total de 111,11 g de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

A partir das dimensões e da massa de solo, calcularam-se as características físico-hídricas da coluna, essenciais para a interpretação dos resultados do transporte de solutos (Matos et al., 2013). A densidade das partículas/real (ρp ou ρr) foi considerada como 2,70 g/cm³ (valor típico para Latossolos), resultando numa densidade do solo (ρs ou ρa) de 1,28 g/cm³ para o volume de coluna de 86,75 cm³. O volume do cilindro foi calculado com base na fórmula do cilindro:

$$v = \pi r^2 h \quad (1)$$

Em que, r - é o raio do cilindro e h - é a altura do cilindro.

O cálculo da porosidade (α) foi realizado com base na relação entre densidades, obtendo-se um valor de 0,53 (ou 53%), característico de solos com elevada capacidade de armazenamento hídrico, como o Latossolo. Consequentemente, o volume poroso (VP) foi de 45,60 cm³.

$$\alpha = 1 - \frac{\rho a}{\rho r} \quad (2)$$

Em que, α - é a porosidade; ρa - densidade aparente/ do solo e ρr - densidade real.

A solução deslocadora foi preparada a partir da pesagem de cloreto de lítio (LiCl), na quantidade de 1000 mg, que foi dissolvido em 2 L de água deionizada. O sal apresenta boa solubilidade, não sendo necessário o uso de agitador. A concentração inicial do pulso (C_0) de lítio determinada foi de 7,30 mg/L (Figura 1).

O ensaio de deslocamento miscível foi conduzido em uma única coluna experimental de lixiviação, caracterizando uma abordagem observacional e exploratória da dinâmica de transporte do soluto no perfil pedológico. A coleta das alíquotas do efluente ocorreu em intervalos de tempo cronometrados de 1 minuto. O fluxo contínuo da solução de cloreto de lítio foi mantido rigorosamente até que o efluente apresentasse concentração relativa (C/C_0) em equilíbrio, o que totalizou a coleta de 50 alíquotas correspondentes a um avanço de 15,93 volumes de poros (Vp) percolados pela matriz do solo.

Procedimento de Amostragem e Análise

O ensaio foi conduzido em regime de fluxo saturado (condição steady-state) e constante. Inicialmente, a coluna foi saturada com água e o fluxo permanente foi estabelecido. Em seguida, iniciou-se a aplicação da solução de LiCl. Foram coletadas 50 alíquotas do efluente em intervalos sequenciais, e a concentração de lítio em cada alíquota foi determinada indiretamente por fotometria de chama, após diluição 1:20 (Figura 2).

Figura 1. Ensaio de deslocamento miscível de LiCl, (Autor, 2024)



Figura 2. Fotômetro de chama utilizado para a determinação de concentrações de LiCl (Autor, 2024).



Determinação de Curva de Eluição e Ajuste de Modelo

A curva de eluição experimental, ou breakthrough curve (BTC), foi determinada traçando-se a concentração relativa (C/C_0) do lítio no efluente em função do volume de poros acumulado (V_p acumulado). É obtida por meio de uma solução analítica da equação diferencial da Convecção-Dispersão (CDE), sujeita a condições iniciais e de contorno específicas do experimento de deslocamento miscível (pulse input ou step input). Os pontos observados foram comparados a uma curva calculada, utilizando-se um modelo de transporte de solutos baseado na CDE, que incorpora os fenômenos de advecção, dispersão e reatividade do soluto com a matriz do solo. Os valores calculados para simular processos de contaminação de campo foram obtidos a partir da equação simplificada:

$$\frac{C}{C_0} = 0{,}5erfc\left[\frac{Rx - vt}{\sqrt{4DRt}}\right] \quad (3)$$

Em que, C/C_0 é concentração de solução relativa (mg/L); R = fator de retardamento; x = comprimento da coluna de solo (cm); t = tempo (horas); D = coeficiente de dispersão hidrodinâmica

(cm²/h); v = velocidade real média da solução na coluna de solo (cm/h) e erfc = função de erro complementar no Excel.

Devido à inadequação inicial da curva calculada, os parâmetros R e D foram otimizados no Solver do Excel, que minimiza funções matemáticas. A rotina do Solver foi empregada para reduzir a soma dos quadrados dos desvios entre a curva observada e a curva simulada, garantindo que a modelagem se ajustasse melhor aos dados experimentais.

O Fator de Retardamento (R) indica a interação soluto-matriz (R ≈ 1: comportamento de traçador ideal; R > 1: sorção e retardamento). A significância do espalhamento do soluto (Coeficiente D) foi quantificada pelo Número de Péclet (P_e): valores $P_e < 1$ indicam transporte dominado por dispersão/difusão; $1 < P_e < 10$ caracterizam regime misto com caminhos preferenciais (comum em solos estruturados); e $P_e > 10$ revelam transporte advectivo tipo fluxo-pistão (van Genuchten & Wierenga, 1976; Reichardt & Timm, 2004).

Avaliação do ajuste do modelo

O coeficiente de determinação (R^2) foi empregado para avaliar a qualidade do ajuste entre a curva observada e a curva simulada. O R^2 é uma métrica estatística amplamente utilizada para avaliar o grau de correspondência entre os dados observados e os valores previstos pelo modelo. Ele indica a proporção da variância nos dados observados que o modelo explica, variando entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior a explicação da variância e, portanto, maior o ajuste; quanto mais próximo de 0, menor a explicação da variância dos dados observados. Essa análise foi fundamental para avaliar a eficiência da modelagem e a precisão dos parâmetros ajustados, como o fator de retardamento (R) e o coeficiente de dispersão hidrodinâmica (D). O uso do R^2 permitiu validar se o modelo reproduziu adequadamente o comportamento real do transporte de LiCl no Latossolo Vermelho-Amarelo, garantindo a confiabilidade das previsões para análises futuras. Para sua determinação, foi aplicada a seguinte fórmula:

$$R^2 = \frac{\left[\sum_i \left(Y_{m,i} - Y_m\right)\left(Y_{m,i} - \bar{Y}_{s^-}\right)\right]}{\sum_i \left(Y_{m,i} - \bar{Y}_{m^-}\right)^2 \left(Y_{s,i} - \bar{Y}_{s^-}\right)^2} \quad (4)$$

Em que, R^2 - representa o coeficiente de determinação; Y - representa o parâmetro; m e s - representam o fluxo observado e simulado e i - representa o fluxo observado ou simulado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios de deslocamento miscível forneceram uma visão detalhada do comportamento do lítio no Latossolo Vermelho-Amarelo, permitindo ajustar os parâmetros essenciais de transporte, R e D. A Tabela 1 resume as características físico-hídricas da coluna e os valores

ajustados: Fator de Retardamento (R) de 4,38 e Coeficiente de Dispersão Hidrodinâmica (D) de 3,36 cm²/min.

Tabela 1: Valores das características de densidade do solo, porosidade, volume poroso, concentração inicial de LiCl e parâmetros de transporte ajustados.

Características determinadas	Latossolo Vermelho-Amarelo
Massa de TFSA (g)	111,11
ρ_p ou ρ_r (g/cm³)	2,70
ρ_s ou ρa (g/cm³)	1,28
Porosidade (α) (%)	0,53
Volume poroso (VP) (cm³)	45,60
Concentração Li – C_0(mg/L)	7,30
Fator de Retardamento (R)	4,38
Coeficiente de Dispersão (D) (cm²/min)	3,36
Velocidade (v) (cm/min)	1,59

Análise do Fator de Retardamento (R)

O valor obtido do Fator de Retardamento (R) para o Lítio foi significativamente superior à unidade, R = 4,38, o que demonstra uma alta interação soluto-solo e um atraso acentuado na velocidade de avanço do íon Li^+ em relação ao fluxo médio da água no solo (Melo et al., 2006).

Em solos tropicais, cátions monovalentes, como o sódio (Na^+) e o potássio (K^+), são frequentemente considerados altamente móveis, com fatores de retardamento próximos ou ligeiramente superiores a 1,0, indicando baixa sorção e alta suscetibilidade à lixiviação (Corrêa et al., 1999; Zhang et al., 2015). Por exemplo, estudos em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) com vinhaça mostraram R para potássio de 2,17 e R para cálcio de 1,27 (Matos et al., 2013). Em Latossolo Vermelho Escuro, R para lítio foi de 1,86 e para potássio, de 2,58 (Colares et al., 2013).

O valor de R = 4,38, obtido no presente estudo, é substancialmente maior do que os valores tipicamente reportados para Li^+ ou K^+ em Latossolos, o que sugere que o LiCl está sendo retido de forma muito eficiente pela matriz do Latossolo Vermelho-Amarelo. Esta forte retenção pode estar relacionada a mecanismos de adsorção específica ou a trocas iônicas intensas, possivelmente devido às características mineralógicas e químicas do Latossolo Vermelho-Amarelo estudado, que pode conter minerais argilosos e óxidos com alta afinidade por Li^+ (Drever, 1997). A retenção indica que o Li^+ possui baixa mobilidade neste solo, o que, do ponto de vista ambiental, implica risco reduzido de contaminação das águas subterrâneas sob as condições ensaiadas.

Análise do Coeficiente de Dispersão Hidrodinâmica (D)

O coeficiente D = 3,36 cm²/min (ou 201,6 cm²/h) resultou em P_e = 2,37. Enquadrado no regime de transição ($1 < P_e < 10$), o valor confirma a dispersão significativa do lítio, reflexo da

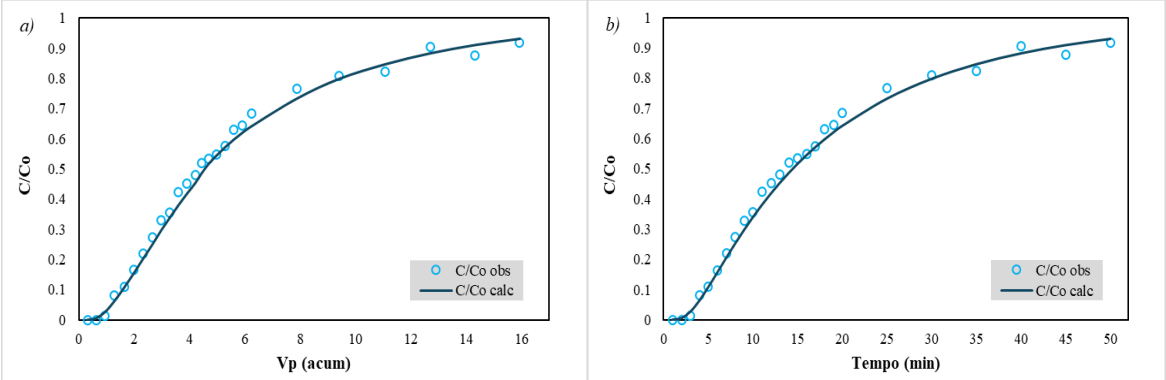
microagregação do Latossolo Vermelho-Amarelo que promove fluxos preferenciais e a assimetria da curva de eluição.

Em solos arenosos, valores elevados de D são frequentemente observados e correlacionados diretamente à velocidade de avanço da solução (Santos et al., 2010). Apesar do Latossolo Vermelho-Amarelo não ser um solo arenoso puro, a dispersão é influenciada pela estrutura do solo, porosidade e velocidade do fluxo, que contribuem para o alargamento da zona de mistura (Alcântara et al., 2020). Em comparação, o Lítio em Latossolo Vermelho Escuro apresentou um D ainda maior (328,31 cm^2/h) (Colares et al., 2013), enquanto outros cátions, como o Ca^{2+}, apresentaram D muito menores em Latossolos (por exemplo, 41,46 cm^2/h no Latossolo Vermelho-Amarelo) (Matos et al., 2013). A magnitude do D, no presente estudo, está na faixa que reforça a natureza do transporte dispersivo/advectivo, sendo o retardamento (R) o principal fator limitante à mobilidade global do LiCl.

Análise da Curva de Eluição

A curva de eluição (Figura 3) apresenta um formato sigmoidal característico, relacionando a concentração relativa (C/C_0) à função do volume de poros acumulado. O ajuste entre a curva observada e a simulada pelo modelo de transporte foi excelente, indicando que o modelo CDE, mesmo em sua formulação mais simplificada, conseguiu descrever de forma eficaz o comportamento do LiCl no solo. O coeficiente de determinação (R^2) calculado foi de 0,93, indicando que 93% da variância dos dados observados é explicada pelo modelo ajustado, confirmando a robustez da modelagem (Montgomery, 2014).

Figura 3. Curvas de eluição observadas e calculadas de LiCl em Latossolo Vermelho-Amarelo: a) em relação ao volume poroso acumulado; b) em relação ao tempo.



No caso de um soluto não reativo, o ponto de inflexão da curva, em que $C/C_0 = 0,5$ (Figura 3a), deveria ocorrer em 1,0 volume de poros (Vp). No entanto, a curva de eluição de LiCl mostra que o valor de $C/C_0 = 0,5$ é atingido aproximadamente no volume de poros acumulado $Vp \approx 4,2$. O fato do ponto de inflexão ocorrer em $Vp > 1,0$ e de a curva estar significativamente deslocada para a

direita é uma evidência direta do elevado valor do fator de retardamento (R = 4,38). Adicionalmente, o perfil temporal (Figura 3b) evidencia um atraso substancial e assimetria na pluma, refletindo diretamente a forte retenção e a significativa dispersão mecânica do soluto na matriz do solo. Este deslocamento acentuado da curva de eluição para a direita indica uma forte sorção e retenção do íon Li^+ pela superfície dos coloides do solo. Essa alta retenção, corroborada pelo elevado valor de R, evidencia que o Li^+ possui uma afinidade surpreendentemente forte pelo complexo de troca do Latossolo Vermelho-Amarelo estudado, atuando como uma barreira eficaz e mitigando o risco de lixiviação para as águas subterrâneas (Rao et al., 1980). Tal dinâmica contrasta com o observado em outros estudos, onde o lítio apresentou menor retenção que o potássio (Colares et al., 2013). Contudo, embora essa dinâmica reduza a lixiviação imediata no perfil pedológico, o acúmulo prolongado do lítio na camada arável eleva os riscos de fitotoxicidade na interface solo-água-planta e promove a bioacumulação ao longo da cadeia alimentar, exigindo monitoramento ambiental contínuo (Shahzad et al., 2016).

CONCLUSÕES

Com base nos resultados do ensaio de deslocamento miscível de Cloreto de Lítio (LiCl) no Latossolo Vermelho-Amarelo, o modelo de transporte (CDE) apresentou elevada precisão (R^2 = 0,93), validando sua eficácia como ferramenta descritiva da dinâmica do Lítio sob as condições controladas de fluxo saturado deste ensaio e confirmando a robustez da modelagem para o perfil de solo estudado.

O Fator de Retardamento (R = 4,38) é significativamente elevado. Esse parâmetro, aliado ao deslocamento acentuado da curva de eluição para a direita, indica que o íon Li^+ apresenta alta interação e retenção na matriz pedológica, sugerindo forte adsorção ou troca iônica que supera a mobilidade frequentemente esperada para íons monovalentes.

O Coeficiente de Dispersão Hidrodinâmica (D = 3,36 cm^2/min) evidencia que a dispersão mecânica contribui de forma notável para o espalhamento do soluto, embora o transporte global da pluma seja fortemente retardado pela interação química com a matriz do solo.

Do ponto de vista hidrogeológico e ambiental, a alta retenção do LiCl indica que o solo atua como um atenuador físico-químico inicial, reduzindo a lixiviação imediata e protegendo as águas subterrâneas. Contudo, esse acúmulo prolongado na camada arável eleva substancialmente os riscos de fitotoxicidade na interface solo-água-planta e de bioacumulação na cadeia alimentar, demandando estratégias de monitoramento a longo prazo.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERÊNCIAS

1. ALCÂNTARA, M. A. K. et al. **Transporte de cádmio em colunas de solo que receberam chorume.** In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE, 3., 2020, Gramado, RS.
2. ALVES, A. T. A. et al. **Contaminantes emergentes: uma revisão de literatura sobre a contaminação do solo e mobilidade de poluentes em meio poroso.** XIV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió-AL, 2018.
3. ANAMI, M. H. et al. **Deslocamento miscível de nitrato e fosfato proveniente de água residuária da suinocultura em colunas de solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, n. 1, p. 75–80, 2008. DOI: 10.1590/S1415-43662008000100011
4. COLARES, M. F. B. et al. **Deslocamento miscível de potássio e lítio em um Latossolo Vermelho Escuro.** XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2013, Fortaleza-CE, 2013.
5. COSTA, C. T. et al. **Ensaios de deslocamento de líquido miscível na determinação dos parâmetros hidrodispersivos de um solo aluvial.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 11, n. 2, p. 111-122, 2006. DOI: http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v11n2.p111-122
6. CORRÊA, M. M. et al. **Deslocamento miscível de sulfona de aldicarbe em colunas de solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 3, n. 2, p. 217-221, 1999. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v3n2p217-221
7. DREVER, J. I. ***The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments*.** 3rd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997.
8. MATOS, A. T. de; GARIGLIO, H. A. de A.; MONACO, P. A. V. L. **Deslocamento miscível de cátions provenientes da vinhaça em colunas de solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 7, p. 743–749, 2013. DOI: 10.1590/S1415-43662013000700008
9. MELO, R. F. de et al. **Deslocamento miscível de cátions básicos provenientes da água residuária de mandioca em colunas de solo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.2, p.456–465, 2006. DOI: 10.1590/S1415-43662006000200029

10. MONTGOMERY, D. C., & RUNGER, G. C. **Applied Statistics and Probability for Engineers.** Wiley, 2014.
11. OLIVEIRA, L. F. C. de et al. **Comparação de metodologias de determinação do coeficiente de dispersão para o cloreto de cálcio em um Latossolo Vermelho-Amarelo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.1, p.7-10, 1999. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v3n1p07-10
12. RAO et al. **Solute transport in aggregated porous media: theoretical and experimental evaluation.** Soil Science Society of American Journal, v.44, p.1139-1146, 1980.
13. REICHARDT, K.; TIMM, L. C**. Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações.** São Paulo: Manole, 2004. 478p.
14. SANTOS, J. S.; LIMA, V. L. A. de; BORGES JÚNIOR, J. C. F.; SILVA, L. V. B. D.; AZEVEDO, C. A. V. de. **Mobilidade de solutos em colunas de solo com água residuária doméstica e de suinocultura.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 11, p. 1226-1233, 2010. DOI: 10.1590/S1415-43662010001100013
15. SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
16. SHAHZAD, B. et al. **Lithium toxicity in plants: Reasons, mechanisms and remediation possibilities – A review.** Plant Physiology and Biochemistry, v. 105, p. 75-84, 2016.
17. SOUZA, R. B. de et al. **Soil Contamination with Heavy Metals and Petroleum Derivates: Impact on Edaphic Fauna and Remediation Strategies**. *Soil Processes And Current Trends In Quality Assessment*, p. 175-203, 2013. DOI: 10.5772/52868.
18. UFV et al. **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte: FEAM, 2010.
19. WANG, H. **Describing and Predicting Breakthrough Curves for non-Reactive Solute Transport in Statistically Homogeneous Porous Media.** Tese (Doutorado) - Virginia Polytechnic Institute And State University, Blacksburg, 2002.
20. ZHANG, R. et al. **Transport of sodium chloride in soil columns under different flow conditions.** Water, Air, & Soil Pollution, v. 226, n. 7, p. 1–12, 2015.
21. VAN GENUCHTEN, M. T.; WIERENGA, P. J. **Mass transfer studies in sorbing porous media I. Analytical solutions.** Soil Science Society of America Journal, v. 50, p. 71-80, 1976.