

AVALIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE EM SOLO ARENOSO COM FERTILIZANTE CONVENCIONAL E DE LIBERAÇÃO LENTA

Autores: João Victor Gomes Ramos, Lucas Antônio Galvão Lima, Maísa Martins de Oliveira, Vitor Barros Lima, Gustavo Rodrigues Martins De Moraes, Samuel de Assis Silva, Willian Bucker Moraes ¹.

¹ Universidade Federal do Espírito Santo/Departamento de Engenharia Rural, Alto Universitário, S/N - Guararema, Alegre - ES, 29500-000, joaogomesr12@gmail.com, lucasgalvaolima80@gmail.com, maisamartins20@gmail.com, contatovitorbarroslima@gmail.com, Moraes.grm.geo@gmail.com, samuel.assilva@gmail.com, willian.fito@gmail.com.

Resumo

O uso de fertilizantes de liberação controlada tem sido apontado como estratégia para aumentar a eficiência da adubação nitrogenada e reduzir perdas em solos arenosos. Este trabalho teve como objetivo comparar a condutividade elétrica aparente (CEa) em solo adubado com fertilizante convencional e com fertilizante de liberação lenta. O estudo foi conduzido em Alegre-ES, em parcelas experimentais de 2 m × 5 m, aplicando doses equivalentes de nitrogênio. As medições de CEa foram realizadas com o condutivímetro portátil LandMapper ERM-01 (Landviser), em diferentes profundidades, e os dados foram submetidos à ANOVA e ao teste de Tukey a 5%. Os resultados indicaram que o fertilizante convencional promoveu maior disponibilidade imediata de íons em determinadas camadas do solo, enquanto o de liberação lenta apresentou valores mais homogêneos e estáveis. Dessa forma, conclui-se que a fonte de liberação lenta pode melhorar o aproveitamento de nutrientes em solos arenosos, favorecendo práticas agrícolas mais sustentáveis.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Adubação. Nutriente. Precisão. Eficiência.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias / Agronomia.

Introdução

O aumento da demanda mundial por alimentos e a necessidade de maior sustentabilidade nos sistemas agrícolas têm impulsionado o desenvolvimento de tecnologias voltadas para o manejo eficiente de nutrientes no solo. Entre elas, os fertilizantes de liberação controlada se destacam como alternativas promissoras, uma vez que permitem maior sincronia entre a disponibilização de nutrientes e a demanda das plantas, reduzindo perdas por lixiviação e aumentando a eficiência no uso do nitrogênio (Mikkelsen; Bruulsema, 2005; Shaviv, 2001). Esses fertilizantes, geralmente recobertos por polímeros ou resinas, apresentam a capacidade de liberar gradualmente os nutrientes em função da temperatura e da umidade do solo, o que garante maior aproveitamento pelas culturas (Shoji et al., 2001; Trenkel, 2010).

Por outro lado, os fertilizantes convencionais, embora amplamente utilizados devido ao baixo custo e fácil disponibilidade, apresentam maior risco de perdas, principalmente em solos arenosos. Nessas condições, a alta taxa de lixiviação do nitrato compromete a eficiência agrônômica e pode gerar impactos ambientais negativos (Correa et al., 2006). Assim, a comparação entre fontes convencionais e controladas torna-se essencial para identificar estratégias mais eficientes e sustentáveis de adubação nitrogenada.

A condutividade elétrica aparente (CEa) tem se mostrado uma ferramenta eficaz para compreender a dinâmica de nutrientes no solo. Por ser uma técnica indireta, não destrutiva e de rápida execução, a CEa permite identificar a variabilidade espacial e temporal de atributos físicos e químicos, como textura, teor de umidade e concentração de íons na solução do solo (Corwin; Lesch, 2003; Grubbs et al., 2019). Nesse sentido, sua utilização em experimentos comparando diferentes fontes de fertilizantes auxilia na compreensão da mobilidade dos nutrientes, fornecendo subsídios para o manejo racional em sistemas de agricultura de precisão (Silva et al., 2021).

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo comparar a condutividade elétrica aparente do solo adubado com fertilizante nitrogenado convencional (T1) e fertilizante de liberação controlada (T2), com base nos dados da avaliação intermediária da CEa, a fim de compreender a dinâmica da solubilização de nutrientes em diferentes profundidades do perfil do solo.

Metodologia

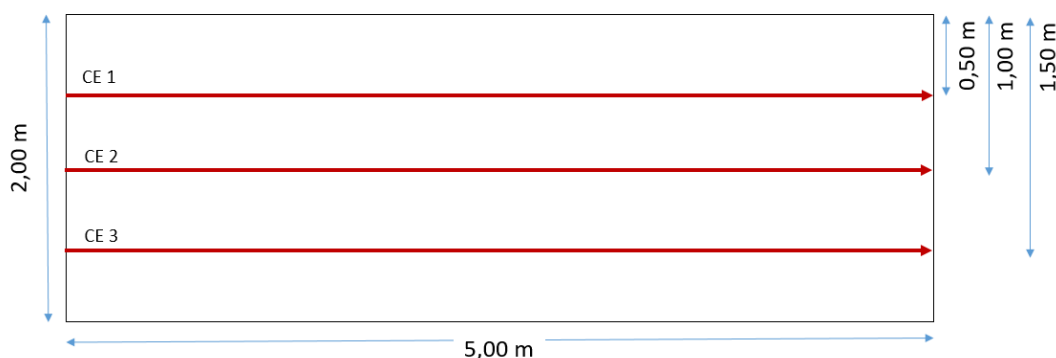
O estudo foi desenvolvido no campo experimental do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias (CCAEE) da Universidade Federal do Espírito Santo, em Alegre-ES (20°45'1.97" S, 41°29'17.02" W). O clima da região é classificado como subtropical úmido com inverno seco (Cwa), segundo Köppen e Geiger (1928), com precipitação média anual de 1.300 mm, temperaturas médias máximas e mínimas de 32 °C e 18 °C, respectivamente, e altitude de 129 m (INCAPER, 2022).

As parcelas experimentais apresentaram dimensões de 2 m × 5 m. Para este artigo, foram considerados dois tratamentos: fertilizante nitrogenado convencional (T1) e fertilizante nitrogenado de liberação controlada (T2), cada um com cinco repetições, totalizando 10 parcelas. As doses de fertilizantes foram ajustadas para fornecer a mesma concentração de nitrogênio em ambos os tratamentos. O fertilizante convencional foi aplicado em parcelamentos, enquanto o de liberação controlada foi aplicado em dose única no início do experimento.

A condutividade elétrica aparente (CEa) foi determinada com o condutivímetro portátil LandMapper ERM-01 (Landviser), utilizando arranjo Wenner-α, com espaçamento de 0,40 m entre dipolos, possibilitando leituras em cinco profundidades (n = 1 a 5). Os dados foram processados no software Res2DInv (Geotomo), gerando pseudo-seções bidimensionais.

A análise estatística foi realizada por meio de análise de variância (ANOVA) e, em casos de significância pelo teste F ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, restringindo-se à comparação entre os tratamentos T1 e T2.

Figura 1- Croqui das parcelas e perfis geoeletricos.



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Tabela 1 - Concentração dos tratamentos utilizados.

	% N	% P	%K
Tratamento 1c	21	5	20
Tratamento 2*	25	6	20

sa: sem adubação; c: convencional e *: liberação controlada

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Tabela 2 - Classificação textural do solo da área de estudo.

Ensaio Textura	Areia Grossa %	Areia Fina %	Silte %	Argila %	Classificação Textural
Médias	71.43	14.11	5.57	8.89	Arenosa

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Fonte: elaborado pelo autor (2025). A Metodologia utilizada para o ensaio de textura do solo foi Agitação lenta a 50 rpm por 16 horas, com agitador tipo Wagner; utilizou dispersante químico: NaOH 0,1 mol/L e determinação das frações silte e argila pelo método da pipeta (Teixeira et al., 2017).

Resultados

Tabela 3 - Análise de Variância da CEa do período de avaliação.

FV	GL	SQ	QM	F
TRAT	3	1.68	0.56	0.15 ^{ns}
NÍVEL	4	148.66	37.17	10.00*
TRAT x NÍVEL	12	20.25	1.69	0.45 ^{ns}
RESÍDUO	75	278.79	3.72	
TOTAL	94	454.27		

FV – Fonte de variação; GL – grau de liberdade; SQ – soma de quadrados; QM – quadrado médio; ns não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

Tabela 4 - Teste de média entre “níveis” das variáveis que apresentaram F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

NÍVEIS	1	2	3	4	5
CEa	5.01 a	5.91 a	3.48 ab	1.39 b	1.12 b

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A avaliação da condutividade elétrica aparente (CEa) indicou diferenças significativas entre os tratamentos analisados. Em algumas profundidades, o fertilizante convencional (T1) apresentou valores de condutividade superiores, refletindo maior disponibilidade imediata de íons na solução do solo. Já no tratamento com fertilizante de liberação controlada (T2), os valores foram estatisticamente inferiores e mais homogêneos, sugerindo uma solubilização mais lenta e contínua dos nutrientes.

Esse comportamento evidencia que, em um período intermediário após a aplicação dos fertilizantes, a fonte convencional promoveu maior mobilidade iônica no solo, enquanto a fonte controlada manteve concentrações mais estáveis ao longo do perfil.

Discussão

Os resultados sugerem que o fertilizante convencional promoveu uma rápida disponibilização dos nutrientes, com consequente aumento da condutividade elétrica em determinadas camadas do solo. No entanto, esse efeito pode ser transitório e acompanhado de maior risco de lixiviação, especialmente em solos de textura arenosa, como descrito por Correa et al. (2006).

Por sua vez, o fertilizante de liberação controlada (T2) apresentou comportamento distinto, com valores mais estáveis e menor variação da condutividade elétrica, o que indica um processo gradual de solubilização. Essa característica é essencial para garantir a eficiência no uso do nitrogênio, reduzindo perdas e aumentando a disponibilidade contínua do nutriente para as plantas (Shaviv, 2001; Trenkel, 2010).

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Esses resultados estão em concordância com estudos recentes que destacam a importância da utilização de fontes de liberação controlada para melhorar a sustentabilidade do manejo da adubação, especialmente em áreas suscetíveis à lixiviação de nutrientes (Hoshino et al., 2024). Além disso, reforçam a utilidade da CEa como ferramenta de monitoramento, confirmando seu potencial para diferenciar o comportamento entre diferentes fontes de fertilizantes (Corwin; Lesch, 2003; Silva et al., 2021).

Conclusão

A avaliação da condutividade elétrica aparente evidenciou que o fertilizante convencional (T1) proporcionou maior disponibilidade imediata de íons em algumas profundidades, enquanto o fertilizante de liberação controlada (T2) apresentou comportamento mais uniforme ao longo do perfil do solo. Esses resultados demonstram que a fonte de liberação controlada pode contribuir para maior eficiência da adubação nitrogenada em solos arenosos, reduzindo perdas e promovendo sustentabilidade no manejo agrícola.

Referências

- CORREA, R. S.; WHITE, R. E.; WEATHERLEY, A. J. Risk of nitrate leaching from two soils amended with biosolids. *Water Research*, v. 33, n. 4, p. 453-462, 2006.
- CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles, and guidelines. *Agronomy Journal*, v. 95, n. 3, p. 455-471, 2003.
- GRUBBS, R. A. et al. Predicting spatial structure of soil physical and chemical properties of golf course fairways using an apparent electrical conductivity sensor. *Precision Agriculture*, v. 20, n. 3, p. 496-519, 2019.
- HOSHINO, R. T. et al. Condutividade elétrica e frequência de aplicação de fertilizantes no crescimento da orquídea *Brassia verrucosa* Lindley. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 45, n. 1, p. 1-14, 2024.
- INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. Dados climáticos do município de Alegre-ES. Vitória: INCAPER, 2022.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimakarte der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.
- MIKKELSEN, R. L.; BRUULSEMA, T. W. Fertilizer use for horticultural crops in the U.S. during the 20th century. *HortTechnology*, v. 15, n. 1, p. 24-30, 2005.
- SHAVIV, A. Advances in controlled-release fertilizers. *Advances in Agronomy*, v. 71, p. 1-49, 2001.
- SHOJI, S.; DELGADO, J.; MOSIER, A.; MIYAMOTO, T. Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 32, n. 7-8, p. 1051-1070, 2001.
- SILVA, S. A. et al. Aplicação da condutividade elétrica aparente do solo em estudos de variabilidade espacial de atributos físicos e químicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 45, e0210113, 2021.
- TEIXEIRA, Paulo Cesar et al. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017. 577 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>.
- TRENKEL, M. E. *Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture*. 2. ed. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010.