

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de
02/08/2023

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until
August 2, 2023

MURILO DE SOUZA

**NITROGÊNIO NO SISTEMA SOLO-PLANTA APÓS A APLICAÇÃO DE
CALCÁRIO E GESSO EM SISTEMA DE PRODUÇÃO**

Botucatu

2022

MURILO DE SOUZA

**NITROGÊNIO NO SISTEMA SOLO-PLANTA APÓS A APLICAÇÃO DE
CALCÁRIO E GESSO EM SISTEMA DE PRODUÇÃO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Agricultura).

Orientador: **Ciro Antonio Rosolem**

Botucatu

2022

S729n

Souza, Murilo De

Nitrogênio no sistema solo-planta após a aplicação de calcário e gesso em sistema de produção / Murilo De Souza. -- Botucatu, 2022
91 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu

Orientador: Ciro Antonio Rosolem

1. corretivos de solo. 2. soja. 3. milho segunda safra. 4. carbono Microbiano. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: NITROGÊNIO NO SISTEMA SOLO-PLANTA APÓS A APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO EM SISTEMA DE PRODUÇÃO

AUTOR: MURILO DE SOUZA

ORIENTADOR: CIRO ANTONIO ROSOLEM

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. CIRO ANTONIO ROSOLEM (Participação Virtual)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP



P/ Dr. DANILO SILVA ALMEIDA (Participação Virtual)
/ Yara Brasil Fertilizantes SA



P/Pesquisador ESTÉVÃO VICARI MELLIS (Participação Virtual)
Centro de Solos e Recursos Agroambientais, Fertilidade do Solo / Instituto Agronômico de Campinas



P/ Prof. Dr. FÁBIO RAFAEL ECHER (Participação Virtual)
Produção Vegetal / Universidade do Oeste Paulista



P/ Prof. Dr. JOSÉ LAVRES JUNIOR (Participação Virtual)
Departamento de Isótopos Estáveis / Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP

Botucatu, 02 de fevereiro de 2022

À minha amada tia,

Nelma,

dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que me deu forças e esperança até aqui.

Aos meus queridos pais, Nélio e Marilza, pelos conselhos e amor incondicional.

Ao meu irmão Gustavo, que quando precisei sempre me apoiou e me ajudou.

Ao Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem, pela orientação, ensinamentos, paciência, amizade e exemplo de professor, além de me proporcionar a oportunidade de evolução crescimento.

Ao departamento de Agricultura da FCA – UNESP e ao programa de Pós Graduação que abriram as portas para mim e me deram suporte para que eu pudesse alcançar esse importante objetivo em minha carreira profissional.

À equipe da Fazenda Lageado, FCA – UNESP, que me auxiliou com insumos agrícolas e nas atividades de campo para aquisição de resultados de alta qualidade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro, concedido por meio de bolsa de doutorado (Processo nº 2017/22134-0) e bolsa estágio de pesquisa no exterior BEPE (Processo nº 2019/15042-7).

Ao CENA e ESALQ-USP, em especial ao professor Paulo Cesar Ocheuze Trivelin e suas respectivas equipes, pelo apoio e ensinamentos à parte deste trabalho, que foi realizado em parceria.

Aos amigos e colegas que sempre estiveram juntos nas atividades teóricas, intelectuais e práticas, de campo e laboratório deste curso, mantendo a mais elevada qualidade e confiabilidade de resultados, posso dizer que sem eles nada disso teria acontecido, mas que também estiveram juntos nos momentos de festas e descontração, amigos que levarei para sempre comigo.

Muito obrigado!

RESUMO

O milho tem sido cultivado em segunda safra no sistema de semeadura direta (SSD), após a soja, mas ainda não há informações precisas sobre sua resposta ao nitrogênio (N) nesse sistema de cultivo, principalmente quando consorciado com gramíneas forrageiras, bem como sobre as consequências na próxima cultura da soja, e processos do ciclo do carbono (C) no solo. O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência do uso de N pela cultura do milho em consórcio com o capim colonião cv. Tanzânia (*Megathyrsus maximus*) na segunda safra, crescimento radicular das culturas em SSD, produtividade das culturas e eficiência de uso do carbono (EUC) em função da correção da acidez do solo utilizando calcário e gesso. Foi conduzido um experimento com a cultura da soja e subsequente à soja, foi cultivado o milho em consórcio com capim cv. Tanzânia, nos anos agrícolas de 2017, 2018 e 2019. Os tratamentos constaram da aplicação de calcário, calcário + gesso e controle (sem aplicação de corretivos) na cultura da soja, e quatro doses de N (0, 80, 160 e 240 kg ha⁻¹) aplicadas na cultura do milho. No tratamento com 160 kg ha⁻¹ N foi realizada aplicação de sulfato de amônio enriquecido em ¹⁵N, para avaliação do aproveitamento do N fertilizante. A aplicação dos corretivos de acidez do solo foi eficiente em promover maior crescimento radicular, sendo mais evidente com a aplicação de calcário associado ao gesso. A correção do solo também promoveu maior absorção do N pelas plantas de milho consorciado com capim cv. Tanzânia, conseqüentemente, resultou em maior eficiência de uso do fertilizante nitrogenado. Além disso, há evidências que a adição de N e P pode aumentar a eficiência do uso de carbono adicionado em solos com acidez corrigida, sugerindo que a comunidade microbiana do solo é limitada pelas restrições de nutrientes minerais.

Palavras-chave: corretivos de solo; soja; milho segunda safra; sistemas de consórcio; carbono microbiano.

ABSTRACT

Maize has been cultivated as a relay crop in the no tillage system (NTS), after soybean, but there is still no accurate information about its response to nitrogen (N) in this cultivation system, especially when intercropped with forage grasses, as well as about the consequences on the next soybean crop, and carbon (C) cycle processes in the soil. The objective of this work was to evaluate the fertilizer N use efficiency (NUE) by maize as a relay crop intercropped with Guinea grass (*Megathyrsus maximus*), root growth of crops in NTS, crop yield and carbon use efficiency (CUE) as a function of soil acidity alleviation using lime and gypsum. An experiment was carried out with soybean crop and subsequent to soybean, maize was cultivated intercropped with Guinea grass, in the 2017, 2018 and 2019 seasons. The treatments consisted of the application of lime, lime + gypsum and control (without amendments application) in the soybean crop, and four N doses (0, 80, 160 and 240 kg ha⁻¹) applied to maize. In the treatment with 160 kg N ha⁻¹, ammonium sulfate enriched with ¹⁵N was applied, to evaluate the N-fertilizer recovery. The amendments application was efficient in promoting greater root growth, being more evident with the lime associated with gypsum application. Acidity soil correction also promoted greater N uptake by maize plants intercropped with Guinea grass, consequently, resulted in greater fertilizer NUE. Furthermore, there is evidence that the addition of N and phosphorus (P) can increase the use efficiency of the added carbon in acid-corrected soils, suggesting that the soil microbial community is limited by mineral nutrient restrictions.

Keywords: soil amendments; soybean; maize as a relay crop; intercropped system; microbial carbon.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	15
CAPÍTULO 1 - CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO E APLICAÇÃO DE N AO MILHO EM UM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO MELHORA O CRESCIMENTO E A PRODUTIVIDADE DA RAIZ DA SOJA	17
RESUMO.....	17
ABSTRACT.....	18
1.1 INTRODUÇÃO.....	18
1.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
1.2.1 Descrição da área experimental.....	20
1.2.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	22
1.2.3 Condução do experimento.....	22
1.2.4 Amostragem de raiz e determinação de matéria seca.....	23
1.2.5 Amostragem de solo e análises químicas.....	23
1.2.6 Análises estatísticas.....	23
1.3 RESULTADOS.....	24
1.3.1 Produtividade de grãos.....	31
1.4 DISCUSSÃO.....	33
1.4.1 Produtividade de grãos.....	35
1.5 CONCLUSÕES.....	38
REFERÊNCIAS.....	39
CAPÍTULO 2 - CHANGES IN SOIL PHYSICAL PROPERTIES WITH TROPICAL CROPPING SYSTEMS UNDER LONG-TERM NO-TILL CONDITIONS.....	46
RESUMO.....	46
ABSTRACT.....	46
2.1 INTRODUÇÃO.....	47
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
2.2.1 Caracterização da área.....	49
2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	50
2.2.3 Instalação e condução do experimento.....	50

2.2.4	Produção e aplicação do sulfato de amônio enriquecido com 15N, amostragem do solo e das plantas de milho e do Panicum maximum cv. Tanzânia.....	51
2.2.5	Análises de dados.....	52
2.3	RESULTADOS.....	54
2.3.1	Nitrogênio residual no solo proveniente do fertilizante.....	54
2.3.2	Recuperação do nitrogênio proveniente do fertilizante pelo milho...	56
2.3.3	Nitrogênio residual recuperado.....	57
2.4	DISCUSSÃO.....	59
2.4.1	Nitrogênio residual no solo proveniente do fertilizante.....	59
2.4.2	Recuperação do nitrogênio proveniente do fertilizante pelo milho...	60
2.4.3	Recuperação total do nitrogênio proveniente do fertilizante.....	61
2.5	CONCLUSÕES.....	63
	REFERÊNCIAS.....	64
	CAPÍTULO 3 - USO E EFICIÊNCIA DE CARBONO APÓS A APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO.....	68
	RESUMO.....	68
	ABSTRACT.....	69
3.1	INTRODUÇÃO.....	69
3.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	71
3.2.1	Características do local do solo coletado.....	71
3.2.2	Experimento 1 - Eficiência de uso do C	72
3.2.3	Experimento 2. - Controles estequiométricos na decomposição de carbono.....	73
3.2.4	Análises estatísticas.....	74
3.3	RESULTADOS.....	74
3.4	DISCUSSÃO.....	78
3.5	CONCLUSÕES.....	81
	REFERÊNCIAS.....	82
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	87
	REFERÊNCIAS.....	89
	ANEXO A.....	91

INTRODUÇÃO GERAL

Os solos ácidos apresentam níveis tóxicos de Al^{3+} e baixos teores de cátions básicos e pH, tornando usual a realização da correção da acidez do solo nas áreas agrícolas do Brasil (CAIRES; BANZATTO; FONSECA, 2000; FAGERIA et al., 2013), sendo fundamental para o desenvolvimento do sistema radicular e maior exploração do solo, além de melhorar a absorção de água e nutrientes (ROSOLEM et al., 2017).

A correção da acidez do solo com aplicação de calcário em sistema semeadura direta (SSD) sem incorporação, em geral é lenta nas camadas do subsolo (COSTA; ROSOLEM, 2007). Entretanto, pode-se alcançar alteração de forma mais imediata na acidez no subsolo após a aplicação de gesso, por proporcionar elevação dos níveis de cátions em subsuperfície, além de reduzir a toxicidade de alumínio e favorecer o desenvolvimento radicular em profundidade (ROSOLEM et al., 1998).

No SSD a aplicação do calcário em superfície, evitando a mobilização do solo, resulta em uma superdose nos primeiros centímetros do perfil (ROSOLEM; FOLONI; OLIVEIRA, 2003), exatamente na camada de maior densidade de raízes e na camada onde se aplica o fertilizante nitrogenado. Assim, nesta região do solo, o pH é relativamente alto em razão da calagem e da presença de palha em superfície, o que favorece a nitrificação. A planta, por sua vez, dependendo da forma do nitrogênio (N), pode colaborar para a acidificação ou para a elevação do pH. Portanto a disponibilidade de N para as plantas pode ser influenciada pelas condições de acidez do solo. Além de interferir nos processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica (SILVA et al., 1999), o pH do solo interfere nas reações de nitrificação (SILVA; DO VALE, 2000), promovendo um incremento na mineralização do N.

Em Latossolos do sul de Minas Gerais, Silva; Vale; Guilherme (1994) verificaram que a calagem elevou a intensidade de nitrificação no solo, e conseqüentemente a disponibilidade de nitrato. Com aplicação de fertilizantes amoniacais nos solos corrigidos, grande quantidade é reduzida a NO_3^- e a acidez do subsolo pode ser afetada por meio da lixiviação de NO_3^- , resultando na movimentação de $Ca(NO_3)_2$ o que pode auxiliar na dissolução do calcário e gesso para o subsolo (CAIRES, 2013).

O efeito da calagem associada aos fertilizantes nitrogenados aplicados na superfície e o movimento do calcário em profundidade foram demonstrados em diferentes sistemas (ABRUNA et al., 1964; ADAMS et al., 1967), mas ainda tem sido

pouco estudado no Brasil, principalmente em sistemas de produção utilizando o milho consorciado com gramíneas forrageiras. Existem observações em solos ácidos do Brasil de que a calagem incorporada aumenta o NO_3^- na camada arável do solo, mas não sua lixiviação. O sulfato de amônio intensifica a movimentação descendente de Ca^{2+} abaixo de 20 cm de profundidade no solo somente quando o calcário é incorporado (FOLONI; ROSOLEM, 2008).

Ao elevar o pH do solo, a calagem também eleva a atividade microbiana (EKENLER; TABATABAI, 2003; MIJANGOS et al., 2006), o que acarreta, em um curto período, na decomposição mais acelerada da matéria orgânica do solo (MOS) (YAO et al., 2009). Porém, esse efeito em longo prazo no SSD, em relação à calagem, pode ser diferente em razão dos efeitos ocasionados pelo não revolvimento do solo, o que promove maior proteção da MOS (CAIRES et al., 2006).

A hipótese é que o milho cultivado em SSD, em consórcio com capim colônia cv. Tanzânia (*Megathyrsus maximus*), em áreas corrigidas por meio da aplicação de calcário e gesso, apresenta maior desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, maior eficiência no aproveitamento do N residual após a cultura da soja. Além disso, o milho consorciado com Tanzânia, através do maior aporte de matéria seca com adubação nitrogenada, pode afetar positivamente a soja cultivada em seguida.

Assim, os objetivos do presente trabalho foram avaliar a aplicação de calcário isolado ou associado ao gesso e o fornecimento de N, o efeito no desenvolvimento do sistema radicular bem como na produtividade de grãos das culturas em SSD, além da eficiência da adubação nitrogenada em milho consorciado com Tanzânia na segunda safra, em sucessão a cultura da soja; verificar a recuperação do N do fertilizante no milho segunda safra em consórcio com capim cv. Tanzânia, bem como a abundância de N proveniente do fertilizante nas plantas e no perfil do solo; avaliar o uso e eficiência do C através da evolução do CO_2 liberado da respiração microbiana.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A correção da acidez do solo e o suprimento de N é capaz de aumentar a distribuição dos sistemas radiculares da soja e do milho no perfil do solo, aumentando a exploração do solo, permitindo a extração de água em períodos de restrição em camadas mais profundas do solo e maior absorção de nutrientes.

A correção da acidez do solo promove maior recuperação do nitrogênio pelas plantas de milho segunda safra cultivado em consórcio com o capim cv. Tanzânia em sistema de semeadura direta, conseqüentemente, proporcionando maior eficiência de uso do carbono (EUC) do fertilizante.

A adição de nutrientes como o N e P, pode ser uma importante alternativa para melhorar a EUC no solo, conseqüentemente, diminuir a emissão de CO₂ para a atmosfera, no solo com acidez corrigida, mostrando que a comunidade microbiana do solo pode sofrer limitações pelas restrições de nutrientes minerais.

REFERÊNCIAS

- Abruña, F.; Vicente-Chandler, J.; Pearson, R. Effect of liming on yields and composition of heavily fertilized grasses and on soil properties under humid tropical conditions. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*, 28:657-661, 1964
- Adams, F.; White, A.W. & Dawson, R.N (1967). Influence of lime sources and rates on coastal bermudagrass production, soil profile reaction, exchangeable Ca and Mg. *Agron. J.*, 59:147-149.
- Caires, E.F.; Banzatto, D.A.; Fonseca, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 24 (1), 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000100018>
- CAIRES, E. F. Correção da acidez do solo em sistema plantio direto. Informações agrônômicas. IPNI-International Plant Nutrition Institute, 2013.
- Caires, E.F., Garbuio, F.J., Alleoni, L.R.F., Cambri, M.A., 2006. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 30. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000100010>
- Costa, A., Rosolem, C.A., 2007. Liming in the transition to no-till under a wheat-soybean rotation. *Soil and Tillage Research* 97. <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.09.014>
- Ekenler, M., Tabatabai, M.A. 2003. Effects of liming and tillage systems on microbial biomass and glycosidases in soils. *Biol. Fertil. Soils* 39, 51-61
- Fageria NK, Melo LC, Oliveira J (2013). Nitrogen use efficiency in dry bean genotypes. *Journal of Plant Nutrition* 36:2179-2190. <https://dx.doi.org/10.1080/01904167.2013.836225>
- Foloni, J. S. S.; Rosolem, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1549-1561, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S010006832008000400019>
- Mijangos, I.; Pérez, R.; Albizu, I.; Garbisu, C. Effects of fertilization and tillage on soil biological parameters. *Enzimol. Microbiol. Technol.*, 40:100-106, 2006.
- Rosolem, C.A., Ritz, K., Cantarella, H., Galdos, M. v., Hawkesford, M.J., Whalley, W.R., Mooney, S.J., 2017. Enhanced Plant Rooting and Crop System Management for Improved N Use Efficiency. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.07.002>
- Rosolem, C.A.; Schiochet, M.A.; Sousa, L.S.; Witacker, J.P.T. Root growth and cotton nutrition as affected by liming and soil compaction. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.29, p.169-177, 1998.
- Rosolem, C.A., Foloni, J.S.S., Oliveira, R.H. de, 2003. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície.

Pesquisa Agropecuária Brasileira 38. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000200018>

Silva, V.M.; Trivelin, P.C.O.; Colaço, W.; Encarnação, F.A.F.; Lara Cabezas, W.A.R., 1999. Mineralização e volatilização do nitrogênio da vinhaça-15N na presença ou não de ureia e de palha de cana-de-açúcar. *Scientia Agricola* 56 (1), 117–124.

Silva, C.A.; Vale, F.R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35: 2461-2471, 2000.

Silva, C.A.; Vale, F.R.; Guilherme, L.R.G. Nitrificação em Latossolos da região sul de Minas Gerais: Efeito da acidez do solo. *Ci. Pratica.*, 18:388-394, 1994.

Yao, H.Y., D. Bowman, T. Rufty; W. Shi. 2009. Interactions between N fertilization, grass clipping addition and pH in turf ecosystems: Implications for soil enzyme activities and organic matter decomposition. *Soil Biol. Biochem.* 41:1425–1432. doi:10.1016/j.soilbio.2009.03.020