UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO
JEQUITINHONHA E MUCURI – UFVJM

ELTON NOBUYUKI HIZUKA

USO DE GLICERINA, REJEITO DA INDÚSTRIA DO BIODIESEL, PRODUZIDA POR TRANSESTERIFICAÇÃO DE TRIGLICERÍDEOS DE ÓLEO VEGETAL EM REAÇÃO CATALIZADA POR KOH COMO FONTE DE POTÁSSIO PARA A CULTURA DA SOJA

DIAMANTINA - MG
2011

ELTON NOBUYUKI HIZUKA

USO DE GLICERINA, REJEITO DA INDÚSTRIA DO BIODIESEL, PRODUZIDA POR TRANSESTERIFICAÇÃO DE TRIGLICERÍDEOS DE ÓLEO VEGETAL EM REAÇÃO CATALIZADA POR KOH COMO FONTE DE POTÁSSIO PARA A CULTURA DA SOJA

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para a obtenção do título de "Mestre".

Orientador
Prof. Dr. Enilson de Barros Silva
Co-Orientador
Prof. Dr. Paulo Henrique Grazziotti

DIAMANTINA - MG
2011

ELTON NOBUYUKI HIZUKA

USO DE GLICERINA, REJEITO DA INDÚSTRIA DO BIODIESEL, PRODUZIDA POR TRANSESTERIFICAÇÃO DE TRIGLICERÍDEOS DE ÓLEO VEGETAL EM REAÇÃO CATALIZADA POR KOH COMO FONTE DE POTÁSSIO PARA A CULTURA DA SOJA

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para a obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 16 de setembro de 2011

Prof. Dr. Paulo Henrique Grazziotti – UFVJM
Membro

Prof. Dr. José Domingos Fabris – UFMG
Membro

Prof. Dr. Enilson de Barros Silva – UFVJM
Presidente

DIAMANTINA - MG
2011

Ofereço

Esta vitória aos meus pais João e Teresa
e minhas irmãs Cristina e Sheila.

Dedico

A todos que se mostraram presentes
durante essa caminhada.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) pela oportunidade de realização do curso e pela contribuição à minha formação acadêmica.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudo.

A todas as pessoas que passaram pelo meu caminho e de alguma forma marcaram essa etapa de minha vida.

Ao professor Enilson de Barros Silva, pela orientação, paciência, respeito e principalmente pela confiança em mim para realização desse trabalho.

Ao professor Paulo Henrique Grazziotti, pelo companheirismo e auxílio nos momentos que necessitei.

Ao meu companheiro Lidiomar Soares da Costa que foi peça fundamental para a realização deste trabalho tanto em campo quanto em laboratório.

Aos meus ajudantes, Bruna, Joessé, Renan, Lariane, Júlia e Luis pela ajuda concedida nos momentos que necessitei.

Aos meus colegas do mestrado, fomos testemunhas das dificuldades uns dos outros, e no fim estamos todos aqui a colher os louros dessa vitória.

Aos amigos Rafael Baracho, Múcio Mágno e Lindomar pela amizade, pelos ensinamentos e pelas conversas que de alguma forma sempre me ajudaram a superar as dificuldades.

À minha família pelo apoio e incentivo durante toda minha vida.

RESUMO

HIZUKA, Elton Nobuyuki. **Uso de glicerina, rejeito da indústria do biodiesel, produzida por transesterificação de triglicerídeos de óleo vegetal em reação catalizada por KOH como fonte de potássio para a cultura da soja,** 2011. 53p. (Dissertação - Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2011.

O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de glicerina proveniente da transesterificação de triglicerídeos de óleo vegetal por catalisador básico KOH como fonte de potássio ("glicerina potássica"), na produtividade e na nutrição da soja e atributos químicos e microbiológicos do solo. Foram realizados quatro experimentos, sendo dois em condições de campo, em Diamantina e Curvelo no estado de Minas Gerais em dois tipos de solo: Neossolo Quartzarênico Órtico típico (NQ) e Latossolo Vermelho distrófico (LVd), respectivamente; e os outros dois experimentos em casa de vegetação em Diamantina, com os mesmos dois solos. Os tratamentos foram três doses de "glicerina potássica" correspondentes 50, 100 e 200 % da dose recomendada de K para a soja e 100 % da dose recomendada de K na forma de cloreto de potássio (KCl) e sulfato de potássio (K_2SO_4) e um tratamento sem aplicação de K (Controle). Realizou-se a análise química do solo (pH, P, K, Ca, Mg, Al, H + Al, CO e SO_4^{-2}) na colheita da soja e microbiológica (respiração microbiana basal (RB), carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente metabólico (qCO_2)) do solo no início da emergência das sementes e colheita da soja e os teores foliares dos nutrientes no florescimento da soja nos quatro experimentos, a produtividade da soja nos experimentos de campo e a produção por vaso e matéria seca nos experimentos na casa de vegetação. A produtividade no experimento de campo apresentou diferença apenas no NQ, devido ao teor baixo de K no início do período experimental, diferentemente do LVd que apresentava teor médio, enquanto no experimento na casa de vegetação a "glicerina potássica" promoveu produção de grãos igual ao do KCl, porém abaixo de K_2SO_4 e não proporcionou aumento na matéria seca da parte aérea da soja em comparação às outras fontes inorgânicas (KCl e K_2SO_4). Na parte química do solo no experimento de campo a "glicerina potássica" aumentou os teores de K em ambos os solos, porém não alterando os demais atributos e o estado nutricional da soja, o "glicerina potássica" supriu parte do K quando este era limitante no solo e no experimento na casa de vegetação a "glicerina potássica" proporcionou aumento nos teores de K no solo e nos teores foliares de K e S na soja cultivada no NQ. O efeito sobre a microbiota do solo do experimento de campo foi variável, sendo que na primeira avaliação foi alta e na última estes valores diminuíram, mostrando que o meio é capaz de consumir a "glicerina potássica" e os fertilizantes minerais (KCl e K_2SO_4). No experimento de casa de vegetação, a "glicerina potássica" ao final do período experimental apresentou tendência de se equilibrar no solo NQ e chegando ao equilíbrio no LVd na atividade microbiológica do solo. Porém são necessários estudos para avaliar a utilização da glicerina potássica em longo prazo para entender melhor a dinâmica deste no solo.

Palavras-chave: Resíduos orgânicos, biodiesel, biomassa microbiana, casa de vegetação.

ABSTRACT

HIZUKA, Elton Nobuyuki. **Use of glycerin, a biodiesel industry waste, produced by vegetable oil transesterification of triglycerides in reaction catalyzed by KOH as a source of potassium for soybean.** 53 p. Dissertation (Masters in Vegetable Production) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2011.

The objective of this study was to evaluate the effects of the application of glycerin came from the vegetable oil transesterification of triglycerides by basic catalyst, KOH, as a source of potassium (potassium glycerin), on productivity and nutrition of soybeans and on chemical and microbiological soil characteristics. Four experiments were conducted, two in field conditions, at Diamantina and Curvelo in Minas Gerais state, Brasil; in two soil types: sandy soil (NQ) and Oxisol (Typic), respectively, and the other two experiments were held in a greenhouse, in Diamantina, using the same two typed of soils. The treatments were three doses of "glycerin K 'corresponding to 50, 100 and 200% of recommended dose of K for soybean, and 100% of recommended dose of K as potassium chloride (KCl) and potassium sulfate ($K_2SO_{4)}$ and a treatment without application of K (Control). There has been carried out chemical analysis of soil (pH, P, K, Ca, Mg, Al, Al + H, CO and $SO_4^{-2)}$ in the soybean harvest and microbiological analysis (microbial basal respiration (BR), microbial biomass carbon (CBM) and metabolic quotient ($OKQ_{(2)}$) of soil at the beginning of the emergence of seeds and soybean harvest; and foliar concentrations of nutrients in the flowering of soybeans in four experiments; the soybean yield in field experiments; and production per pot and dry matter in the experiments in the greenhouse. Productivity in the field experiment was different only in NQ, due to the low content of K in the beginning of the trial, unlike that presented in the Oxisol that presented average content, while in the experiment in the greenhouse at "K glycerin" promoted grain production equal to KCl, but below to the K_2SO_4 and did not improve the dry matter of aerial part of soybean compared to other inorganic sources (KCl and $K_2SO_{4).}$ Regarding the soil chemistry in field experiment "glycerin potassium" increased K levels in both soils, but did not alter the nutritional status and other attributes of soybean; "glycerin K" supplied some of the potassium when it was limited in soil; and in the greenhouse experiment, "K glycerin" provided increased levels of potassium in soil and in foliar concentrations of K and S in soybeans grown in NQ. The effect on soil microflora of field experiment was variable, with the first assessment being high and the values decreasing in the last assessments, showing that the medium is able of consuming the "glycerin potassium" and mineral fertilizers (KCl and $K_2SO_{4).}$ In a greenhouse experiment, the "K glycerin" to the end of the experiment tended to balance in the NQ soil and reached the balance in microbial activity in the Oxisol. But studies are needed to evaluate the use of glycerin potassium in the long run to better understand the dynamics of the soil.

Key words: Organic residue, biodiesel, microbial biomass, greenhouse.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO CIENTÍFICO I Pág.

Tabela 1 Análise química e de textura dos solos antes da aplicação dos experimentos..... 09

Tabela 2 Descrição dos tratamentos aplicados..... 10

Tabela 3 Análise química da "glicerina potássica"..... 10

Tabela 4 Resultados das análises químicas dos solos em função dos tratamentos após a colheita da soja..... 13

Tabela 5 Teores de nutrientes nas folhas da soja em função dos tratamentos cultivada em dois tipos de solo..... 14

Tabela 6 Resultados das análises microbiológicas dos solos na emergência (E1) e na colheita (E2) da soja em função dos tratamentos..... 14

ARTIGO CIENTÍFICO II

Tabela 1 Análise de química e de textura dos solos antes da aplicação dos experimentos..... 27

Tabela 2 Descrição dos tratamentos aplicados..... 27

Tabela 3 Análise química da "glicerina potássica"..... 27

Tabela 4 Resultados das análises químicas dos solos em função dos tratamentos após a colheita da soja..... 31

Tabela 5 Teores de nutrientes nas folhas da soja em função dos tratamentos cultivada em dois tipos de solo..... 31

Tabela 6 Resultados das análises microbiológicas dos solos na emergência (E1) e na colheita (E2) da soja em função dos tratamentos..... 32

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO CIENTÍFICO I Pág.

Figura 1 Distribuição mensal da precipitação pluviométrica, temperatura máxima e mínima em Curvelo e Diamantina, MG no período de estudo..... 09

Figura 2 Produtividade da soja em função dos tratamentos cultivada em dois tipos de solo..... 12

ARTIGO CIENTÍFICO II

Figura 1 Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas de soja em função dos tratamentos cultivada em dois tipos de solo..... 29

Figura 2 Produção de grãos de soja em função dos tratamentos cultivada em dois tipos de solo..... 29

SUMÁRIO

	Pág.
RESUMO……	i
ABSTRACT…..…….……	ii
LISTA DE TABELAS..……...….	iii
LISTA DE FIGURAS..……...….	iv
INTRODUÇÃO GERAL…….…….	01
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.…….	04
ARTIGO CIENTIFICO I. …….....……...	05
1 Resumo.....	05
2 Abstract.....	06
3 Introdução.....	07
4 Material e métodos.....	08
5 Resultados.....	12
6 Discussão.....	15
7 Conclusões.....	19
8 Agradecimentos.....	19
9 Referências Bibliográficas	20
ARTIGO CIENTIFICO II.....	23
1 Resumo.....	23
2 Abstract.....	24
3 Introdução.....	25
4 Material e métodos.....	26
5 Resultados.....	29
6 Discussão.....	32
7 Conclusões.....	35
8 Agradecimentos.....	35
9 Referências Bibliográficas	36
CONCLUSÃO GERAL.....	39
ANEXO.....	40

INTRODUÇÃO GERAL

A maior parte de toda a energia consumida no mundo provém dos combustíveis não renováveis como: petróleo, carvão mineral e do gás natural, que produzem gases poluentes na combustão. São de reservas naturais, de fontes limitadas não renováveis com eminente esgotamento num futuro próximo. Por isso a procura por novas fontes de energia tem sido alvo de tantos estudos, sobretudo em tempos mais recentes.

O Brasil produziu em 2009, segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2011), aproximadamente 116 milhões de m^3 de petróleo. A procura por fontes renováveis de energia tem apontado como saída para a minimização da poluição e da dependência dos combustíveis não renováveis a produção vegetal, devido aos aprimoramentos das técnicas produtivas agrícolas, bem como a maior eficiência na produção de energia a partir da biomassa.

A implantação da nova lei federal, relacionada à aplicação dos recursos energéticos, obrigou, em 2008, o acréscimo de 2 % de biodiesel no diesel comum (B2) (LEGISLAÇÃO..., 2008; PINTO, 2005) essa proporção deverá aumentar progressivamente, em 2010 foi estabelecida em 5 % (B5) (PINTO, 2005). Com isto, haverá um aumento na demanda do biodiesel e conseqüentemente, um aumento esperado na oferta nacional de glicerina, já que cerca de 10 % do produto formado na reação de obtenção de biodiesel via reação de transesterificação é glicerina. A mistura de 2 % de biodiesel (B2) resulta na necessidade de oferta nacional de 800 milhões de litros, por ano, acarretando na produção potencial de 80.000 toneladas de glicerina bruta, por ano, que deve ser considerada como excedente de produção, visto que o consumo nacional atinge aproximadamente 14.080 toneladas por ano (PINTO, 2005), este aumento de produção de glicerina acarretará desafios econômicos, sociais e ambientais.

A glicerina é comumente usada na preparação de diversos produtos industriais tais como remédios, produtos de uso pessoal, aditivos em alimentos, bebida, tabaco, resinas alquídicas, poliol-polieter, celofane e explosivos. Todavia o seu uso é condicionado ao grau de pureza, que deve estar usualmente acima de 95 %. Além disso, a glicerina bruta é cotada a R$ 1,40/kg, a bidestilada por R$ 3,65/kg, enquanto que a glicerina farmacêutica (≥99,5%) é vendida a valores acima de R$ 564,00/kg (GLICEROL..., 2008).

A glicerina bruta vegetal apresenta cerca de 50 % de impurezas (ZHO et al., 2008), o que evidencia a necessidade de purificá-la, a fim de viabilizar seu emprego no setor industrial. As principais impurezas presentes na glicerina oriunda do biodiesel são catalisador, álcool e

ácidos graxos. Estas impurezas dependem da natureza da oleaginosa e do tipo de catálise empregada na preparação do biodiesel. A inexistência de estudos sobre a purificação da glicerina vegetal bruta indica a necessidade de desenvolvimento de rotas de purificação em função do tipo de transesterificação, dos parâmetros físicos e da qualidade da glicerina bruta gerada. A reação de formação de biodiesel (transesterificação), geralmente, apresenta as seguintes impurezas: água, catalisador (alcalino - NaOH ou KOH ou ácido - H_2SO_4), álcool residual (não reagido), impureza provinda dos reagentes, ácidos graxos, ésteres, propanodióis, monoéteres, oligômeros de glicerina e polímeros (FERRARI et al., 2005).

Outro aspecto econômico importante é que em virtude da produção crescente de biodiesel, já está havendo excesso de oferta de glicerina, um rejeito industrial, e tem reduzido significativamente seu valor de mercado. Diante desse panorama, o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de processos de transformação de glicerina em produtos de interesse industrial, e de maior valor agregado, são importantes para que o programa de produção do biodiesel tenha o sucesso esperado e que os produtos hoje derivados do petróleo possam ser gradativamente substituídos por outros de fontes renováveis.

Em solos tropicais e subtropicais, a matéria orgânica apresenta uma estreita relação com as demais propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Dentre as propriedades químicas a capacidade de troca de cátions (CTC) é de fundamental importância para manutenção da capacidade produtiva do solo, em longo prazo (CIOTTA et al., 2003). Dessa forma, a glicerina, um resíduo orgânico da produção de biodiesel, provavelmente poderá elevar a CTC de solos tropicais, pois esses possuem baixa CTC, levando à redução da perda de cátions, principalmente de potássio (K), e melhorando as condições de cultivo da soja.

O cultivo da soja em solos tropicais, em áreas favoráveis à mecanização, ocorre na sua maioria em Latossolos (SCHERER, 1998). Esses solos, em seu estado natural, caracterizam-se pela elevada acidez e baixa disponibilidade de fósforo (P) (NOVAIS e SMYTH, 1999). Por essa razão, deu-se, inicialmente, maior ênfase ao efeito desses dois fatores, ficando os relativos à adubação potássica em segundo plano (SCHERER, 1998), mesmo sabendo ser o K, depois do nitrogênio (N), é o segundo elemento absorvido em grandes quantidades pela planta de soja (MASCARENHAS et al., 2003). Atualmente, em virtude da utilização continuada de formulações comerciais com altos teores de P e baixos teores de K na adubação da soja, há um esgotamento gradativo dos solos e uma tendência cada vez maior de aparecimento de áreas com deficiências de K no solo. Assim, prevê-se a crescente importância da adubação potássica na cultura da soja (MIELNICZUK, 1982; BORKERT et al., 1993, MASCARENHAS et al., 2003). A utilização direta da “glicerina bruta” ao solo

como fonte de fertilizante potássico, obtida do processo de transesterificação com o catalisador KOH e H_2SO_4 (K_2SO_4 - sulfato de potássio), no propósito de se adotar a prática na cadeia produtiva das lavouras oleaginosas, principalmente a cultura da soja, é uma alternativa de baixo custo no fornecimento de nutrientes ao solo, além de aumentar a viabilidade econômica da indústria de biodiesel, a partir do reaproveitamento de um co-produto.

Assim, o principal co-produto da indústria do biodiesel, a glicerina, poderá ser empregado, sem qualquer tratamento, para a produção da soja através de uma tecnologia simples, que poderá ser facilmente transferida para o setor produtivo, incluindo o pequeno produtor, que deverá realizar uma investigação no aspecto econômico e ambiental em relação às fontes de K, atualmente existente no cultivo das culturas em geral.

O objetivo deste trabalho foi o de avaliar o aproveitamento direto da glicerina bruta, como fonte de potássio para cultura da soja proveniente da transesterificação de óleo vegetal com catalisador básico (KOH) (″glicerina potássica″).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP. Agencia nacional do petróleo, gás natural e biocombustíveis. Disponível em: http://www.anp.gov.br/?pg=46827&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1311166000776, acessado em 20/07/2011.

BORKERT, C.M.; SFREDO, G.J.; SILVA, D.N. Calibração de potássio trocável para soja em Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.2, p.223-226, 1993.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6, p.1161-1164, 2003

FERRARI, R.A; OLIVEIRA, V.S; SCABIO, A. Biodiesel de soja – taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n.1, p.19-23, 2005.

Glycerol ACS Reagent, 99.5%. Sigma Aldrich. Disponível em: http://www.sigmaaldrich.com/catalog/search/ProductDetail/SIAL/G7893. Acesso em 06 set. 2008.

Legislação e Decretos sobre o Biodiesel. Resolução ANP n° 42, de 24 de novembro de 2004. Disponível em: http://www.biodieselbr.com/biodiesel/legislacao/legislacaobiodiesel.htm>.Acesso em 06 set. 2008.

MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; WUTKE, E.B.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, M.A.C. Potássio para soja. **O Agrônomo**, Campinas, v.55, n.1, p.20-21, 2003.

MIELNICZUK, J. **O potássio no solo.** Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato/Instituto Internacional da Potassa, 1982. 80p. (Boletim Técnico, 2).

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa: UFV, 1999. 399p.

PINTO, A.C.; GUARIEIRO, L.L.N.; REZENDE, M.J.C.; RIBEIRO, N.M.; TORRES, E.A.; LOPES, W.A.; PEREIRA, P.A.P.; ANDRADE, J.B. Biodiesel: an overview. **Journal of Brazilian Chemical Society**, Campinas, v.16, n.6b, p. 1313-1330, 2005.

SCHERER, E.E. Resposta da soja à adubação potássica em Latossolo Húmico distrófico num período de doze anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.1, p.49-55, 1998.

ZHOU, C.H.; BELTRAMINI, J.N.; FAN, Y.X.; LU, G.Q. Chemoselective catalytic conversion of glycerol as a biorenewable source to valuable commodity chemicals. **Chemical Society Reviews**, v.37, p.527–549, 2008.

ARTIGO CIENTÍFICO I

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DA INDÚSTRIA DO BIODIESEL COMO FONTE POTÁSSICA PARA A SOJA

RESUMO

A glicerina é um resíduo da indústria do biodiesel através do processo de transesterificação de triglicerídeos de óleo vegetal por catalisador básico que acarretará desafios econômicos, sociais e ambientais devido ao aumento da produção de biodiesel no país. O objetivo do trabalho foi o de avaliar a aplicação de glicerina, resíduo da indústria do biodiesel, proveniente da transesterificação de triglicerídeos de óleo vegetal pelo catalisador hidróxido de potássio (KOH) como fonte de potássio ("glicerina potássica") na produtividade e nutrição da soja e atributos químicos e microbiológicos do solo. Foram conduzidos dois experimentos em condições de campo no município de Curvelo (MG) em Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e outro em Diamantina (MG) em Neossolo Quartzarênico (NQ). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram três doses de "glicerina potássica" correspondentes 50, 100 e 200 % da dose recomendada de K para a soja e 100 % da dose recomendada na forma de KCl e K_2SO_4 e um tratamento sem aplicação de K. A dose recomendada de K_2O foram de 120 e 80 kg ha^{-1} para o NQ e LVd, respectivamente. Realizou-se a análise química do solo (pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, CO, SO_4^{-2}) na colheita da soja e microbiológica (respiração microbiana basal (RB), carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente metabólico (qCO_2)) do solo em duas épocas (início da emergência e colheita da soja) e a produtividade da soja e os teores foliares dos nutrientes no florescimento da soja. A produtividade da soja aumentou com aplicação de "glicerina potássica" quando a disponibilidade de K no solo foi limitante, sendo inferiores as fontes minerais de K, mas suprindo em parte a necessidade de K pela soja. A microbiota do solo apresentou uma tendência de se equilibrar ao fim do ciclo da cultura da soja com aplicação de "glicerina potássica", dessa forma não causando efeitos adversos para a cultura e no solo. A "glicerina potássica" não causa problemas ambientais ao local onde foi aplicada, mas são necessários estudos para avaliar sua utilização em longo prazo para entender melhor a dinâmica deste no solo e na produtividade das culturas.

Palavras-chave: Resíduo orgânico, produção, nutrição, solo, biomassa microbiana.

ABSTRACT

USE OF BIODIESEL INDUSTRY WASTE AS POTASSIUM SOURCES FOR SOYBEAN CROPS

Glycerin is a residue of the biodiesel industry, output from the process of vegetable oil transesterification of triglycerides in basic catalyst that will lead to economic, social and environmental impacts due to increased production of biodiesel in Brazil. The objective of this study was to evaluate the application of glycerin, a biodiesel industry waste, came from vegetable oil transesterification of triglycerides by potassium hydroxide catalyst (KOH) as a source of potassium ("K glycerin") on productivity and nutrition of soybeans and on chemical and microbiological characteristics of the soil. Two experiments were conducted under field conditions in a Oxisol (Typic) soil type, at Curvelo, Minas Gerais state, Brazil, and another in the village of Diamantina, Minas Gerais state in a sand soil type (NQ). The experimental design was randomized blocks with four replications. The treatments were three doses of "glycerin K 'corresponding to 50, 100 and 200% of recommended dose of Potassium for soybean and 100% of the dose recommended in the form of KCl and K_2SO_4 and a treatment without application of K. The recommended dose of K_2O were 120 and 80 kg ha $^{-1}$ for NQ and Oxisoil, respectively. There has been carried out chemical analysis of soil (pH, P, K, Ca, Mg, Al, Al + H, CO, $SO_4^{-2)}$ in the soybean harvest and microbiological analysis (microbial basal respiration (BR), microbial biomass carbon (CBM) and metabolic quotient (OKQ $_{(2)}$) soil at two times (early emergence and soybean harvest) and soybean yield and foliar concentrations of nutrients in the flowering of soybeans. Soybean yield increased with the application of "glycerin K" when the availability of K in the soil was limited, and although lower than the mineral sources of K, it supplied in part the soybeans need for K. The soil microbiota tended to balance at the end of the cycle of soybeans with application of "glycerin K", thus not causing adverse effects on crop and soil. The "glycerin K" does not cause environmental problems to the place where it was applied, but studies are needed to evaluate its long-term use to better understand the dynamics of soil and crop productivity.

Key words: Organic residue, yield, nutrition, soil, microbial biomass.

INTRODUÇÃO

A glicerina é um resíduo da indústria do biodiesel resultante de cerca de 10 a 12 % do óleo vegetal utilizado. Com a expansão da produção de biodiesel, conseqüentemente irá aumentar a oferta de glicerina (GUIMARÃES et al., 2006). Porém a glicerina resultante dessa produção possui pureza em torno de 50 % (ZHO et al., 2008) e é de coloração mais escura, necessitando ser purificada para uso industrial (FERRARI et al., 2005). No entanto esse processo é caro, sendo a glicerina descartada como resíduo pelas pequenas indústrias de produção de biodiesel (ZHO et al., 2008).

É importante ressaltar que a solução do problema da glicerina, à medida que aumenta a produção de biodiesel no Brasil, passa por uma limitação importante que é a capacidade de refino instalada no país. São apenas quatro unidades de refino que, a priori, não poderão absorver o volume gerado de glicerina bruta. Portanto, alternativas de uso direto deste insumo são essenciais para conferir viabilidade ao processo (GUIMARÃES et al., 2006 e ZHO et al., 2008).

Existem estudos relacionados ao uso da glicerina bruta como matéria prima para a produção de outros compostos para utilização em vários setores (ZHO et al., 2008; MOTA, et al. 2009). No entanto, o uso direto da glicerina bruta não é muito conhecido, portanto seu uso na área agrícola segue também em uma incógnita.

No Brasil, o óleo de soja é o mais utilizado para a produção do biodiesel (PINTO, 2005), dessa forma quanto menor for o custo de produção da soja, melhor será para o complexo industrial da soja no país. Sendo assim, surge como alternativa para a utilização da glicerina bruta proveniente da transesterificação de triglicerídeos de óleo vegetal utilizando hidróxido de potássio na reação da produção do biodiesel, seguido de ácido fosfórico para neutralização da mesma, dessa forma produzindo fosfato de potássio, podendo ser utilizado como fertilizante (ZHO et al., 2008). A proposta deste trabalho foi à neutralização com ácido sulfúrico, resultando assim em sulfato de potássio, que recebeu o nome de “glicerina potássica”.

O potássio (K) é o segundo nutriente mais absorvido pela cultura da soja e o uso de fertilizantes formulados com baixo teor de K por cerca de 20 anos, fez com que crescesse a importância desse macronutriente (MASCARENHAS et al., 2003). Em solos tropicais e subtropicais, a matéria orgânica apresenta uma estreita relação com as demais propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, dentre as químicas a capacidade de troca de cátions (CTC), é de fundamental importância para manutenção da capacidade produtiva do solo em

longo prazo (CIOTTA et al., 2003). Desta forma, a glicerina, um resíduo orgânico, provavelmente poderá elevar CTC de solos tropicais, pois estes possuem baixa CTC, levando a redução da perda de cátions, principalmente de K e melhorando a fertilidade do solo para o cultivo da soja.

Os resíduos orgânicos podem substituir ou complementar os fertilizantes inorgânicos, apresentando resultados atrativos ao produtor, pois de acordo com CONAB (2011a), o custo com fertilizantes na cultura da soja correspondem a aproximadamente 25 % do custo total da produção na região de cerrado.

Dessa forma o presente estudo teve como objetivo avaliar a aplicação de glicerina, resíduo da indústria do biodiesel, proveniente da transesterificação de triglicerídeos de óleo vegetal pelo catalisador hidróxido de potássio (KOH) como fonte de potássio (“glicerina potássica”) na produtividade e nutrição da soja e atributos químicos e microbiológicos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos experimentos independentes que seguiram os mesmos procedimentos, no período de dezembro de 2009 a abril de 2010 em locais distintos caracterizados a seguir: sob um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) (EMBRAPA, 2006), área localizada na Fazenda Experimental do Moura da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) no município de Curvelo, MG (18°45’ S, 44°25’ W, altitude de 633 m) de clima Aw na classificação de Koppen, com uma precipitação média anual de 1.200 mm, temperatura média 24°C (Figura 1). O outro sob um Neossolo Quartzarênico Órtico típico (NQ) (EMBRAPA, 2006), área localizada no Campus JK da UFVJM, no município de Diamantina, MG (18°15’ S, 43°36’ W e altitude 1.400 m) de clima tropical Cwb na classificação de Koppen, com uma precipitação média anual de 1.082 mm, temperatura média 19,4 °C (Figura 1), cujas análises químicas e de textura do solo (Tabela 1) foram realizadas conforme Silva (2009) e Embrapa (1997), respectivamente.

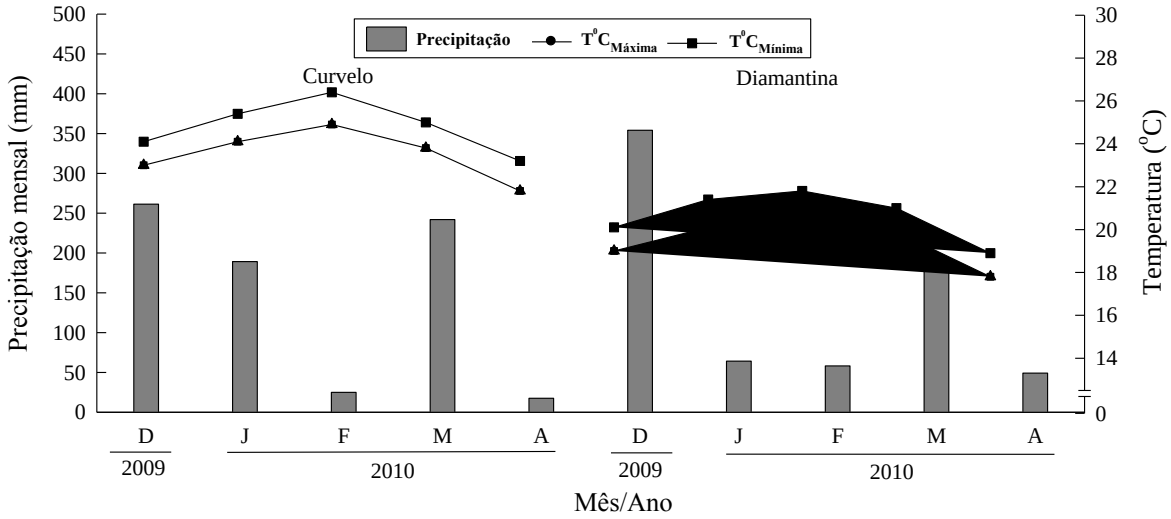

Figura 1. Distribuição mensal da precipitação pluviométrica, temperatura máxima e mínima em Curvelo e Diamantina, MG no período de estudo. Fonte: Inmet (2009/2010).

Tabela 1. Análise química e de textura dos solos antes da aplicação dos experimentos.

Solo	pH água	P	K	$S\text{-}SO_4^{2-}$	Ca	Mg	Al	T	m	V	CO	Areia	Silte	Argila
		------- mg dm^{-3} -------			-----$cmol_c$ dm^{-3}-------				----%----		----------g kg^{-1}----------			
LVd	5,8	1,4	70	4,8	2,3	1,1	0,7	8,3	16	43	17,4	90	450	460
NQ	5,6	1,8	16	10,1	0,5	0,2	1,1	3,7	60	20	4,0	890	60	50

pH água: Relação solo-água 1:2,5. P e K: Extrator Mehlich-1. Ca, Mg e Al: Extrator KCl 1 mol L^{-1}. $S\text{-}SO_4^{2-}$: Extrator fosfato diácido de cálcio ($Ca(H_2PO_4)_2$). T: Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. m: Saturação de alumínio. V: Saturação por bases. CO: Carbono orgânico determinado pelo método Walkey-Black. Areia, silte e argila: Método da pipeta. LVd: Latossolo Vermelho distrófico e NQ: Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 2006).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com seis tratamentos (Tabela 2) com quatro repetições. A parcela experimental foi de 5,4 m^2 (1,8 x 3,0 m) com a parcela útil de 0,9 m^2 (0,9 x 1,0 m). A dose recomendada de K para cultura de soja foram de 120 kg K_2O para o NQ e 80 kg K_2O para o LVd por hectare (NOVAIS, 1999) baseado na disponibilidade de K da análise química do solo (Tabela 1). A glicerina utilizada foi produzida através do processo de transesterificação de triglicerídeos de óleo de soja após sua utilização em frituras com catalisador hidróxido de potássio (KOH) e neutralizado com ácido sulfúrico (H_2SO_4) sendo denominada no presente estudo como “glicerina potássica”. As análises dos atributos químicos da “glicerina potássica” (Tabela 3) foram realizados segundo metodologias descritas por Tedesco et al. (1995) e Melo e Silva (2008) para resíduos orgânicos.

O preparo da área experimental foi realizado da forma convencional. A calagem foi realizada com três meses de antecedência na área, distribuindo em área total com calcário dolomítico, com 90 % de poder relativo de neutralização total (PRNT), que foi calculada

objetivando a elevar a saturação por bases a 60% por meio do método da elevação da saturação por bases conforme recomendação de Alvarez e Ribeiro (1999).

Tabela 2. Descrição dos tratamentos aplicados.

Simbologia	Descrição	Quantidade aplicada	
		LVd	NQ
Controle	Sem adubação potássica	-	-
"Glicerina potássica" 1	Metade da dose recomendada de K para a cultura da soja (Novais, 1999) na forma de "glicerina potássica"	2,0 m^3 ha^{-1}	3,0 m^3 ha^{-1}
"Glicerina potássica" 2	Dose recomendada de K para a cultura da soja (Novais, 1999) na forma de "glicerina potássica"	4,0 m^3 ha^{-1}	6,0 m^3 ha^{-1}
"Glicerina potássica" 3	Dobro da dose recomendada de K para a cultura da soja (Novais, 1999) na forma de "glicerina potássica"	8,0 m^3 ha^{-1}	12,0 m^3 ha^{-1}
KCl	Dose recomendada de K para a cultura da soja (Novais, 1999) na forma de cloreto de potássio (58% K_2O)	138 kg ha^{-1}	207 kg ha^{-1}
K_2SO_4	Dose recomendada de K para a cultura da soja (Novais, 1999) na forma de sulfato de potássio (48% K_2O)	167 kg ha^{-1}	250 kg ha^{-1}

LVd: Latossolo Vermelho distrófico e NQ: Neossolo Quartzarênico

Tabela 3. Análise química da "glicerina potássica"

pH	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Dens.	C.O.
	---------- kg m^{-3} ----------											kg dm^{-3}	g dm^{-3}
8,3	0	0,2	20,7	0	0	1,1	0,001	0,004	0,054	0,002	0,096	1,01	3,0

Dens.: Densidade da "glicerina potássica" e CO: Carbono orgânico

A população de soja cultivar MSOY-8001, safra 2008/2009, peneira 6,0 mm foi de 444.444 plantas por ha, no espaçamento de 0,45 m entre linhas e 20 sementes por metro. A adubação fosfatada foi feita no sulco de plantio na dose 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato simples em todos os tratamentos e locais de cultivo. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. Os tratos culturais da soja foram conforme recomendação da Embrapa (2008).

No cultivo da soja em Diamantina (MG) foi feito irrigação complementar pelo sistema de aspersão para atingir uma lâmina diária de 3,0 mm com aspersores com vazão de 0,49 m^3 h^{-1} quando necessário.

Na colheita da soja foi avaliada a produtividade da cultura, com teor de água dos grãos corrigida para 13 %, e os atributos químicos do solo, em amostras compostas retiradas na profundidade de 0 a 0,2 m por parcela útil na linha de plantio. As análises químicas do solo foram: pH em água; P e K (Mehlich-1); Ca, Mg e Al (KCl 1 mol L^{-1}); acidez potencial (H +

Al) pelo acetato de cálcio, C-orgânico pelo método Walkey-Black (EMBRAPA, 1997; SILVA, 2009) e sulfato (SO_4^{-2}) extraído pelo extrator $Ca(H_2PO_4)_2$ com 500 mg L^{-1} de P em ácido acético 2 mol L^{-1} (HOEFT et al., 1973) e determinado por turbidimetria (ALVAREZ et al., 2001). Para avaliação do estado nutricional da soja foram retiradas amostras de folhas no estádio R2 (florescimento pleno) por parcela útil, e os teores de macro e micronutrientes foram determinados segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

Para as análises microbiológicas foram coletadas amostras de solo de cada parcela experimental na profundidade de 0 a 0,10 m no início da emergência e na colheita da soja. Foi avaliada a respiração microbiana basal (RB) (ALEF e NANNIPIERI, 1995), o carbono da biomassa microbiana (CBM) pelo método da fumigação-extração (VANCE et al., 1987) e a hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) (FRIGHETTO e VALARINI, 2000). O quociente metabólico (qCO_2) foi calculado pela razão entre a taxa de RB e o CBM (ANDERSON e DOMSCH, 1993), sendo expresso em μg CO_2 μg CBM^{-1} dia^{-1}.

As variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade.

RESULTADOS

No LVd as doses de K independente da fonte não promoveu aumento na produtividade em relação ao Controle (Figura 2). Já no NQ houve aumento da produtividade entre o Controle e demais tratamentos. A produtividade apresentou um comportamento crescente com o aumento das doses de "glicerina potássica" aplicada no NQ. A fonte KCl aplicada no NQ proporcionou a maior produtividade (1665,7 kg ha^{-1}) entre todos tratamentos.

A aplicação direta da "glicerina potássica" foi avaliada como uma fonte alternativa de nutrientes para a cultura da soja, dessa forma os atributos químicos do solo e nutricionais da cultura da soja foi avaliada (Tabelas 4 e 5). Ao término do período experimental houve melhoria dos atributos químicos do solo (Tabela 4). Houve aumento do pH do NQ apenas no "glicerina potássica" 3, e no LVd que não houve diferença significativa do pH. Os teores de P e K aumentaram em relação aos teores encontrados da análise inicial, sendo que no NQ o aumento foi maior que LVd (Tabela 1). O teor de Al houve maior redução no NQ que o LVd em relação ao início do experimento, a saturação de Al (m) seguiu a mesma tendência do Al trocável (Tabela 4). O S-SO_4^{2-} houve maior variação no NQ comparado ao LVd. A capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (T) aumentou em relação a análise inicial (Tabela 1) nos dois solos (Tabela 4).

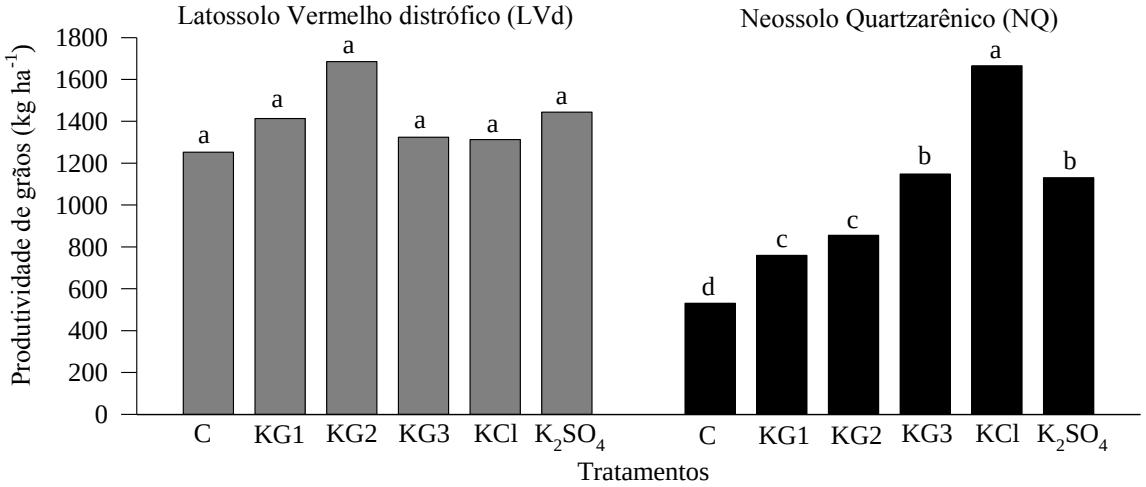

Figura 2. Produtividade da soja em função dos tratamentos cultivada em dois tipos de solo. Médias seguidas com as mesmas letras dentro de cada tipo de solo não diferem pelo teste de Scott & Knott a 5%. (C: Controle; KG1, KG2 e KG3: "Glicerina potássica" 1, 2 e 3; KCl: cloreto de potássio e K_2SO_4: sulfato de potássio).

Tabela 4. Resultados das análises químicas dos solos em função dos tratamentos após a colheita da soja.

Trat[1/]	pH	P	K	S-SO_4^{2-}	Ca	Mg	Al	T	m	V	C.O
		----------mg dm^{-3}----------			----------$cmol_c$ dm^{-3}----------				--------%--------		-g kg^{-1}-
	---------- Latossolo Vermelho distrófico (LVd) ----------										
C	6,0 a	13,7 c	72,5 c	15,2 c	3,7 a	1,5 a	0,04 c	10,1 a	0,78 c	54,7 a	13,0 a
KG1	6,0 a	15,1 b	120,7 b	22,7 b	3,6 a	1,8 a	0,05 c	9,8 a	0,87 c	58,9 a	13,0 a
KG2	5,9 a	16,6 b	127,3 b	28,9 a	3,8 a	1,9 a	0,03 d	10,2 a	0,54 d	59,5 a	14,0 a
KG3	6,0 a	10,3 d	115,0 b	13,9 c	3,8 a	1,3 a	0,05 c	9,7 a	0,92 c	56,3 a	14,0 a
KCl	5,7 a	28,7 a	176,0 a	27,6 a	3,6 a	1,1 a	0,14 a	10,2 a	2,66 a	50,1 a	14,0 a
K_2SO_4	5,7 a	19,1 b	131,5 b	26,9 a	3,8 a	1,0 a	0,11 b	10,1 a	2,15 b	49,7 a	13,0 a
	---------- Neossolo Quartzarênico (NQ) ----------										
C	5,5 b	23,6 b	16,8 f	22,9 e	1,10 b	0,30 b	0,06 c	4,3 a	4,2 d	33,3 b	4,2 a
KG1	5,4 b	17,8 d	29,1 e	27,3 d	0,80 d	0,34 b	0,10 b	4,0 a	7,5 b	30,5 b	4,5 a
KG2	5,4 b	19,0 d	39,2d	32,3 c	0,84 d	0,27 b	0,10 b	4,3 a	7,5 b	29,2 b	4,1 a
KG3	5,7 a	31,5 a	52,8 c	19,5 e	1,25 a	0,39 a	0,04 d	4,5 a	2,3 e	39,2 a	4,2 a
KCl	5,3 b	31,3 a	59,6 b	38,4 b	0,92 c	0,46 a	0,19 a	4,9 a	11,2 a	31,2 b	5,4 a
K_2SO_4	5,3 b	20,9 c	71,5 a	49,7 a	0,97 c	0,31 b	0,10 b	4,6 a	6,3 c	32,1 b	4,8 a

Médias seguidas com as mesmas letras dentro de cada tipo de solo não diferem pelo teste de Scott & Knott a 5%.
[1/] C: Controle; KG1, KG2 e KG3: "Glicerina potássica" 1, 2 e 3; KCl: cloreto de potássio e K_2SO_4: sulfato de potássio

No LVd, houve apenas aumento no teor de S das folhas diagnóstico da soja (Tabela 5). Já no NQ, os teores de K aumentaram de acordo com o aumento das doses de "glicerina potássica" e nos KCl e K_2SO_4 teve os maiores teores (Tabela 5). Os teores de Ca e Mg não houve diferença entre o controle e as doses de "glicerina potássica", porém reduziu em KCl e K_2SO_4 (Tabela 5). O teor foliar de Fe no controle não diferiu entre os "glicerina potássica" e os maiores teores foram encontrados em KCl e K_2SO_4. Nos teores foliares de Mn, o KCl proporcionou maior aumento. Já o teor foliar de Zn nos tratamentos KCl e K_2SO_4 foram menores que os demais (Tabela 5).

Foram realizadas análises microbiológicas em duas épocas a fim de obter informações quanto ao efeito da "glicerina potássica" na microbiota do solo (Tabela 6). Na hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA), no solo LVd na colheita foi menor que na emergência enquanto no NQ na colheita foi maior que na emergência. Em relação aos tratamentos houve diferença significativa exceto na colheita do LVd (Tabela 6).

A respiração microbiana basal (RB), no LVd na emergência os valores foram maiores que na colheita (Tabela 6). Nos tratamentos houve maior variação na emergência em relação à colheita, em que todos foram maiores que o controle. No solo NQ não seguiu um padrão entre épocas como no LVd (emergência>colheita), apresentando em geral valores maiores na colheita e menores na emergência. E como no solo LVd em relação aos tratamentos, a variação foi maior na emergência que na colheita (Tabela 6).

Tabela 5. Teores de nutrientes nas folhas da soja em função dos tratamentos cultivada em dois tipos de solo.

Trat[1/]	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg^{-1}						mg kg^{-1}				
	Latossolo Vermelho distrófico (LVd)										
C	26 a	0,4 a	21 a	10 a	1,2 a	0,9 c	33,4 a	1,9 a	78,2 a	22,9 a	29,6 a
KG1	26 a	0,4 a	20 a	10 a	1,2 a	0,8 c	32,3 a	1,9 a	74,0 a	24,5 a	27,5 a
KG2	28 a	0,5 a	21 a	10 a	1,2 a	1,3 b	31,3 a	1,9 a	69,1 a	21,2 a	30,7 a
KG3	28 a	0,5 a	20 a	11 a	1,2 a	1,5 a	32,4 a	1,9 a	65,6 a	23,7 a	28,1 a
KCl	29 a	0,5 a	21 a	10 a	1,2 a	0,9 c	31,0 a	1,9 a	67,7 a	22,1 a	30,1 a
K_2SO_4	26 a	0,5 a	21 a	11 a	1,2 a	1,6 a	31,0 a	2,0 a	76,1 a	23,3 a	29,9 a
	Neossolo Quartzarênico (NQ)										
C	43 a	1,2 a	7 c	17 a	3,6 a	1,1 c	22,1 a	2,0 a	62,6 c	38,2 b	26,5 a
KG1	41 a	1,1 a	8 c	17 a	3,6 a	1,4 b	22,0 a	2,0 a	63,2 c	39,6 b	28,4 a
KG2	45 a	1,1 a	10 b	17 a	3,2 a	1,5 b	21,1 a	2,0 a	69,3 c	32,0 b	31,2 a
KG3	44 a	1,1 a	11 b	15 a	3,2 a	1,5 b	20,9 a	2,0 a	69,9 c	35,8 b	26,0 a
KCl	45 a	1,1 a	20 a	11 b	1,6 b	1,6 b	22,0 a	2,0 a	88,2 a	48,6 a	21,0 b
K_2SO_4	42 a	1,0 a	20 a	12 b	1,6 b	1,9 a	21,5 a	2,0 a	79,0 b	39,0 b	21,3 b

Médias seguidas com as mesmas letras dentro de cada tipo de solo não diferem pelo teste de Scott & Knott a 5%.
[1/] C: Controle; KG1, KG2 e KG3: "Glicerina potássica" 1, 2 e 3; KCl: cloreto de potássio e K_2SO_4: sulfato de potássio

Tabela 6. Resultados das análises microbiológicas dos solos na emergência (E1) e na colheita (E2) da soja em função dos tratamentos.

Trat[1/]	FDA (Hidrólise do diacetato de fluoresceína)		RB (Respiração microbiana basal)		CBM (Carbono da biomassa microbiana)		qCO_2 (Quociente metabólico)	
	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2
	µg FDA g $solo^{-1}$ h^{-1}		µg CO_2 g $solo^{-1}$ h^{-1}		µg Cmic g $solo^{-1}$		µg CO_2 µg $Cmic^{-1}$ dia^{-}	
	Latossolo Vermelho distrófico (LVd)							
C	4,27 Aa	0,69 Ba	1,29 Ae	0,69 Bb	374,4 Aa	389,6 Aa	0,08 Af	0,04 Be
KG1	4,00 Aa	0,91 Ba	1,54 Ad	0,90 Ba	112,6 Be	241,5 Ab	0,33 Ac	0,09 Bd
KG2	3,39 Ab	1,14 Ba	3,09 Ab	0,95 Ba	149,7 Ad	155,5 Ac	0,49 Aa	0,14 Bc
KG3	4,33 Aa	1,07 Ba	3,46 Aa	1,00 Ba	187,1 Ac	137,2 Bc	0,44 Ab	0,17 Bb
KCl	4,59 Aa	1,06 Ba	2,41 Ac	0,96 Ba	214,5 Ac	119,8 Bc	0,27 Ad	0,19 Ba
K_2SO_4	3,34 Ab	1,05 Ba	2,39 Ac	1,09 Ba	273,5 Ab	125,3 Bc	0,21 Ae	0,21 Aa
	Neossolo Quartzarênico (NQ)							
C	1,31 Ba	2,01 Ab	1,30 Bd	2,36 Ab	145,2 Bc	266,0 Ab	0,22 Ac	0,21 Ab
KG1	1,31 Ba	2,16 Ab	2,44 Ac	2,69 Ab	272,4 Ab	212,4 Bd	0,21 Bc	0,30 Aa
KG2	0,83 Bb	2,08 Ab	4,14 Aa	3,23 Ba	310,6 Aa	264,7 Bb	0,32 Ab	0,29 Aa
KG3	0,74 Bb	2,54 Aa	3,72 Ab	3,48 Aa	144,2 Bc	244,7 Ac	0,62 Aa	0,34 Ba
KCl	0,90 Bb	1,95 Ab	1,57 Bd	2,54 Ab	65,2 Bd	214,5 Ad	0,58 Aa	0,29 Ba
K_2SO_4	1,16 Ba	2,21 Ab	2,10 Bc	2,69 Ab	86,2 Bd	296,5 Aa	0,58 Aa	0,22 Bb

Médias seguidas com as mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo teste de Scott & Knott a 5%.
[1/] C: Controle; KG1, KG2 e KG3: "Glicerina potássica" 1, 2 e 3; KCl: cloreto de potássio e K_2SO_4: sulfato de potássio

Na emergência da soja no LVd, o carbono de biomassa microbiana (CBM) reduziu com aplicação de todos os tratamentos comparados com o Controle, sendo mais acentuados em "glicerina potássica"1, 2 e 3 (Tabela 6). No NQ, o CBM aumentou quando foi aplicado "glicerina potássica" 1 e 2; em "glicerina potássica"3 não diferiu e as fontes KCl e K_2SO_4 reduziu em relação ao Controle (Tabela 6). Na colheita da soja no LVd apenas aumentou em

“glicerina potássica” 1, o Controle e “glicerina potássica” 2 não diferiram entre as épocas de avaliação e reduziu em “glicerina potássica” 3, KCl e K_2SO_4. No NQ houve um aumento em Controle, “glicerina potássica” 3, KCl e K_2SO_4, já em “glicerina potássica” 1 e 2 aumentaram, em relação a emergência (Tabela 6).

O quociente metabólico (qCO_2) é um atributo microbiológico em que pode-se inferir o estresse do solo e é uma relação entre a RB e o CBM, assim, toda variação que ocorrer irá modificar esse valor. Como no solo LVd a variação das duas variáveis foram maiores que no NQ, os valores do qCO_2, sofreram maior variação (Tabela 6). Na época de emergência da soja, o qCO_2 apresentou valores maiores que na colheita em ambos os solos. A aplicação da “glicerina potássica” aumentou os valores em relação ao Controle na emergência (Tabela 6).

DISCUSSÃO

A ausência do incremento na produtividade da soja no LVd com aplicação da “glicerina potássica” e as fontes inorgânicas (KCl e K_2SO_4) deve ser devido ao teor inicial de K médio (Tabela 1), com valor entre 41 a 70 mg dm^{-3} (ALVAREZ V. et al., 1999), fez com que não houvesse resposta em produtividade de grãos da soja entre os tratamentos aplicados (Figura 2). Da mesma forma, no plantio da soja em Latossolo Vermelho Escuro com teor de K de 54,6 mg dm^{-3} não obteve resposta à aplicação da adubação potássica (ROSOLEM et al., 1993). Diferentemente do LVd, o NQ que possuía teor inicial de K baixo (Tabela 1), com valor entre 16 a 40 mg dm^{-3} (ALVAREZ V. et al., 1999) apresentou resposta na produtividade à aplicação de K na forma de “glicerina potássica” e as fontes inorgânicas (KCl e K_2SO_4) em relação ao Controle (Figura 2). Respostas a adubação potássica na cultura da soja foram encontradas em solo Latossolo Vermelho Escuro álico com teor de K de 27,3 mg dm^{-3} (MASCARENHAS et al., 2000).

Para o LVd, os teores de $S\text{-}SO_4^{-2}$ acima de 10 mg dm^{-3} e para o NQ teores de $S\text{-}SO_4^{-2}$ acima de 3 mg dm^{-3}, são considerados altos (SFREDO, 2003). Provavelmente, não ocorreu resposta deste nutriente no aumento da produtividade de grãos da soja, devido os solos já apresentarem altos teores de $S\text{-}SO_4^{-2}$ (Tabela 4). A utilização da fonte superfosfato simples que possui 12 % de S em sua formulação, foi à provável causa dos valores de $S\text{-}SO_4^{-2}$ apresentados (Tabela 4).

A baixa produtividade em ambos os locais de cultivo pode ter ocorrido devido ao regime pluviométrico do período experimental, onde foi quantitativamente suficiente, porém mal distribuído durante o ciclo da soja e a temperatura que foi abaixo do ideal (Figura 1). Para

que se obtenha uma boa produtividade na cultura da soja, fatores climáticos favoráveis são essenciais, assim, a exigência hídrica é de 7 a 8 mm por dia, totalizando em seu ciclo 450 a 800 mm, dependendo do manejo e duração do ciclo da cultura e temperatura ideal em torno de 30 ^{0}C (EMBRAPA, 2008). Sendo que na safra 2010/2011, no estado de Minas Gerais obteve uma produção média de 2.750 kg ha^{-1} (CONAB, 2011b).

O aumento apresentado nos teores de K no solo é devido aos tratamentos, pois este nutriente foi o objeto de estudo deste trabalho, tendo fontes e doses variáveis. O maior incremento no teor de K no NQ em relação ao LVd, é devido às doses terem sido diferentes, pois a recomendação da adubação potássica foi realizada de acordo com a análise inicial do solo (Tabela 1) que apresentou teor médio ao LVd e baixo ao NQ (ALVAREZ V. et al., 1999). Tanto no LVd quanto no NQ, a "glicerina potássica" apresentou menores teores de K que em KCl e K_2SO_4, esse comportamento pode ser devido a "glicerina potássica" ter possivelmente ter adsorvido o K na estrutura de glicerina, deixando assim indisponível no solo para a cultura da soja. Apesar do aumento do K dos tratamentos, a aplicação da "glicerina potássica" não foi suficiente para modificar a CTC a pH 7 (T) que não aumentou nos dois solos, o mesmo ocorreu com o C-orgânico, provavelmente uma única aplicação da "glicerina potássica" não foi suficiente para modificar estes atributos do solo.

A diferença do Ca e Mg no NQ pode ter ocorrido devido a competição com o K, uma vez que estes utilizam os mesmos sítios de absorção (ANDREOTTI et al., 2001), sendo que o aumento de K intensifica a competição com Ca e Mg (OLIVEIRA, 2001). No LVd, o teor médio de K provavelmente se equivaleu como os teores de Ca e Mg ocorrendo menor competição entre eles, diferentemente no NQ que apresentava baixo teor de K, dessa forma ocorrendo maior competição entre as bases, fato justificado pelas diferenças entre o Ca e Mg (Tabela 4). A saturação por bases (V%) é uma relação entre as bases (Ca, Mg e K), dessa forma a variação destas, interfere nos valores de V%.

Em relação ao S, o aumento ocorrido foi devido às fontes de K utilizadas, onde a "glicerina potássica" além de K possuir S em sua composição (1,1 kg m^{-3} de S), advindo da adição de ácido sulfúrico no processo de produção do biodiesel e o K_2SO_4 possui 17 % de S em sua composição. A diferença do P entre os solos é devido ao grau de intemperismo, onde quanto maior, maior será a função de dreno de P do solo (NOVAIS et al., 2007), dessa forma o LVd possui maior poder de retenção do P que o NQ e também a umidade do solo pode ter influenciado o processo de difusão de P no solo impossibilitando a absorção deste nutriente pela soja (KURIHARA et al., 2008). Entretanto, ambos os solos não foram capazes de suprir a quantidade de P adequado à planta (Tabela 5). O teor de Al apresentado, esta na faixa

considerada muito baixa (ALVAREZ V. et al., 1999), não causando toxidez as plantas de soja.

O estado nutricional da soja mostra que não houve aumento nos nutrientes quando cultivada no LVd, exceto o S, que aumentou, porém, não suficiente para proporcionar incremento na produtividade de grãos (Figura 2), devido ao teor de S nas folhas da soja estar abaixo da faixa adequada de 2,0 a 3,0 g kg^{-1} (KURIHARA et al., 2008). Ao contrário, a fertilidade do solo NQ é baixa, o teor foliar na soja sofreu mais mudanças que no solo LVd (Tabela 5). O nutriente em que sofreu maior aumento no NQ tanto no solo (Tabela 4) quanto na análise do estado nutricional da soja (Tabela 5) foi o K, dessa forma podendo ser o responsável pelo aumento na produtividade da soja. O K influencia vários processos fisiológicos como fotossíntese, transporte de fotoassimilados e ativação de enzimas, sendo a produção diretamente afetada (PETTIGREW, 2008). A variação entre Ca e Mg é conseqüência da competição com o K (VITTI et al., 2006), onde apresentou maiores teores de K, os teores de Ca e Mg foram menores. No teor de S, o aumento foi devido às fontes de K utilizadas, pois a "glicerina potássica" possui S assim como o K_2SO_4. Apesar das variações em Fe e Mn, estes se encontram dentro da faixa ideal para a cultura da soja (KURIHARA et al., 2008).

A adição de compostos orgânicos e fertilizantes inorgânicos podem causar efeitos positivos ou negativos a biomassa microbiana e a sua atividade (BÖHME et al., 2005), dessa forma os resultados obtidos mostraram essas variações. Condições ambientais afetam a atividade microbiana (NANNIPIERI et al., 2003), dessa forma a umidade do solo no LVd possivelmente pode ter afetado a microbiota do solo, pois ocorreu um veranico no período experimental (Figura 1).

A redução da atividade microbiana medida pela hidrólise de FDA no LVd, em "glicerina potássica" 3 e K_2SO_4, pode ter ocorrido devido a dose ter sido prejudicial a microbiota do solo. Em relação às duas épocas de avaliação, a tendência de redução do valor do FDA na colheita pode ser efeito das condições climáticas, onde ocorreu um veranico no período experimental que pode ter afetado a microbiota. Já no NQ a redução, do mesmo modo que LVd as doses mais altas de "glicerina potássica" de alguma forma inibiu a atividade microbiana assim como no KCl. Nas épocas de avaliação, o comportamento foi diferente em relação ao LVd, pois em NQ ao final do período experimental o valor foi maior que o inicial, fato justificado pela irrigação complementar realizada em NQ.

Na emergência da soja, com a adição da "glicerina potássica" e fertilizantes minerais, a RB aumentou, em relação ao Controle em ambos os solos (Tabela 6). A aplicação de

biossólidos aumentou a RB, e esse aumento pode ser dado devido ao C-orgânico e nutrientes (LAMBAIS e CARMO, 2008) oriundos da “glicerina potássica” e fertilizantes minerais. As fontes minerais (KCl e K_2SO_4) não estimularam a microbiota como a “glicerina potássica”, isso pode ter ocorrido devido ao aumento de C-orgânico, já que o carbono disponível no solo aumenta a atividade microbiana (ARAÚJO e MONTEIRO, 2006). Na colheita da soja no NQ, o “glicerina potássica” 2 e 3 ficaram com os maiores valores de RB (Tabela 6), isso pode ser devido a não completa decomposição da glicerina, visto que esses dois tratamentos foram os que receberam maior quantidade de “glicerina potássica”, pois a dose recomendada de K foi maior devido o teor inicial no NQ ser baixo (Tabela 1). Na colheita, todos do LVd e “glicerina potássica” 2 e 3 no NQ foram maiores que o Controle, esses resultados se assemelham com Moreno et al. (1999), onde no final do período experimental a RB manteve valores acima do Controle.

Na emergência da soja, o CBM no LVd a redução dos valores em relação ao Controle, pode ter sido devido a algum efeito da “glicerina potássica”, KCl e K_2SO_4 que prejudicaram a microbiota do solo. A utilização de lodo de curtume reduziu o CBM após 30 dias de incubação do solo sugerido pelos autores ao efeito tóxico de metais pesados presentes no resíduo (SANTOS et al., 2011). Na colheita da soja no LVd, devido à falta de chuva durante o período experimental, os valores de CBM fossem maiores em relação ao NQ. No NQ, o comportamento do CBM foi diferente, mostrando que a “glicerina potássica” estimulou o crescimento da microbiota em “glicerina potássica” 1 e 2, porém em KCl e K_2SO_4 causaram algum efeito prejudicial que reduziu o CBM. Na colheita a redução da diferença entre os tratamentos em relação à emergência da soja, mostra a recuperação da microbiota do solo. Fatores ambientais dentre eles, a umidade do solo, podem modificar a ecologia, atividade e dinâmica da população de microorganismos no solo, pois modificam o habitat destes (NANNIPIERI et al., 2003).

O qCO_2 avaliado na emergência da soja teve uma variação maior em relação ao Controle no LVd, dessa forma pode-se afirmar que a “glicerina potássica” e os fertilizantes minerais causaram maior estresse nesse solo. Já na época de colheita da soja, a tendência de estabilização no NQ ocorre devido à exaustão dos nutrientes, chegando assim a um equilíbrio no meio. Porém no LVd não houve essa tendência que pode ser devido a duração do ciclo da cultura ser menor que o tempo necessário para equilibrar neste solo. De modo geral, tal comportamento deve-se a redução do estresse do solo com o aumento do tempo de incubação (MORENO et al., 1999) e a maioria dos tratamentos apesar dessa redução, foram superiores ao Controle como todos os tratamentos em LVd e NQ, exceto no K_2SO_4 neste último solo.

De maneira geral, a aplicação “glicerina potássica” não causou grandes modificações na parte química do solo a não ser no teor de K por se tratar o elemento em estudo. As análises microbiológicas apresentaram um estresse maior quando foi aplicada e reduzindo ao final do período experimental. A não estabilização do qCO_2 pode estar ligado ao tempo de avaliação que pode ter sido pequeno para que ocorresse o completo consumo das fontes utilizadas. Entretanto os valores de qCO_2, indicam que o uso da “glicerina potássica” não provoca estresse no solo, dessa forma podendo ser utilizado sem maiores consequências ambientais relacionado à sua aplicação direta ao solo.

A utilização da glicerina no campo de produção de soja, em solos com teor médio de K, resultará na retirada de 400 litros de glicerina bruta por hectare de soja cultivada, nos estoques da indústria do biodiesel. A área cultivada com soja no Brasil na safra de 2010/2011 foi pouco mais de 24 milhões de hectares (CONAB, 2011b), dessa forma se 1 % dessa área fosse utilizada a glicerina iria retirar dos estoques nacionais um total de 96 milhões de litros de glicerina, fazendo com que esse resíduo não seja descartado de forma a prejudicar o meio ambiente.

CONCLUSÕES

1. A produtividade da soja aumentou com aplicação de “glicerina potássica” quando a disponibilidade de K no solo foi limitante, sendo inferiores as fontes minerais de K, mas suprindo em parte a necessidade de K pela soja.

2. A microbiota do solo apresentou uma tendência de se equilibrar ao fim do ciclo da cultura da soja com aplicação de “glicerina potássica”, dessa forma não causando efeitos adversos para a cultura e no solo.

3. A “glicerina potássica” não causa problemas ambientais ao local onde foi aplicada, mas são necessários estudos para avaliar sua utilização em longo prazo para entender melhor a dinâmica deste no solo e na produtividade das culturas.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de mestrado. A Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, pela infraestrutura necessária para condução do experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. b-Glucosidase activity. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. p.350-352.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** Viçosa: CFSEMG, 1999. p.25-32.

ALVAREZ, V., V.H.; DIAS, L.E.; RIBEIRO JÚNIOR, E.S.; SOUZA, R.B.; FONSECA, C.A. **Métodos de análises de enxofre em solos e plantas**. Viçosa: UFV, 2001. 131p.

ALVAREZ, V., V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** 5ª Aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.43-60.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotiente (qCO_2) as a specifc activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.25, n.3, p. 393-395, 1993.

ANDREOTTI, M.; RODRIGUES, J.D.; CRUSCIOL, C.A.C.; SOUZA, E.C.A.; BULL, L.T. Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.1, p.145-150, 2001.

ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. Microbial biomass and activity in a Brazilian soil plus untreated and composted textile sludge, **Chemosphere**, Oxford, v.64, p.1043-1046, 2006.

BÖHME, L; LANGER, U; BÖHME, F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments. **Agriculture, Ecosystems & Environment,** Amsterdam v.109, p.141-152, 2005.

CIOTTA, M.N.;. BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6, p.1161-1164, 2003.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo levantamento, julho 2011 / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília : Conab, 2011b.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Custo de Produção. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_07_22_17_35_12_soja_pd-sorriso-mt_mai_2011..pdf, acessado em 14/07/2011a.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ**). Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: SPI, 2006. 306p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise do solo.** Brasília: Produção de Informação, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja - região central do Brasil 2009 e 2010**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 262p.

FERRARI, R.A; OLIVEIRA, V.S; SCABIO, A. Biodiesel de soja – taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n.1, p.19-23, 2005.

FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo:** manual técnico. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 198p.

GUIMARÃES, J.L.; SATYANARAYANA, K.G.; WYPYCH, F.; RAMOS, L.P. Preparo de compósitos biodegradáveis a partir de fibras de bananeira plastificadas com amido e glicerina bruta derivada da alcoólise de óleos vegetais. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DO BIODIESEL, 1, Brasília, **Anais...** Brasília: ABIPTI, v.2, p. 28-33, 2006.

HOEFT, R.G.; WALSH, L.M.; KEENEY, D.R. Evaluation of various extractants for available soil sulfur. **Soil Science Society America Proceedings,** Madison, v.37, n.2, p. 401-404, 1973.

KURIHARA, C. H.; STAUT, L. A.; MAEDA, S. Faixas de suficiência de nutrientes em folhas de soja, em Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, definidas pelo uso do método DRIS de diagnose do estado nutricional. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 30., 2008, Londrina. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2008. (Embrapa Soja. Documentos, 304).

LAMBAIS, M. R.; CARMO, J. B. Impactos da aplicação de biossólidos na microbiota de solos tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1129-1138, 2008.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas:** princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; CARMELLO, Q. A. C.; GALLO, P. B.; Ambrosano, G. M. B. Calcário e potássio para a cultura de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.3, p.445-449, 2000.

MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; WUTKE, E.B.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, M.A.C. Potássio para soja. **O Agrônomo**, Campinas, v.55, n.1, p.20-21, 2003.

MELO, L.C.A.; SILVA, C.A. Influência de métodos de digestão e massa de amostra na recuperação de nutrientes em resíduos orgânicos. **Química Nova**, São Paulo, v.31, n.3, p.556-561, 2008.

MORENO, J.L.; HERNANDEZ, T.; GARCIA, C. Effects of cadmium contaminated sewage sludge compost on dynamics of organic matter and microbial activity in an arid soil. **Biology and Fertility of Soils,** Oxford, v.28, n.2, p.230-237, 1999.

MOTA, C.J.A.; SILVA, C.X.A.; GONÇALVES, V.L.C. Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da Glicerina de produção de biodiesel. **Quimica Nova**, São Paulo, v.32, n.3, p.639-648, 2009.

NANNIPIERI, P., ASCHER, J., CECCHERINI, M.T., LANDI, L., PIETRAMELLARA, G., RENELLA, G. Microbial diversity and soil functions. **European Journal of Soil Science**, Cambridge, v.54, p.655-670, 2003.

NOVAIS, R. F. In: RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 323-327.

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. (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 372-537.

OLIVEIRA, F.A.; CARMELLO, Q.A.C.; MASCARENHAS, H.A.A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-de-vegetação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.2, p.329-335, 2001.

PETTIGREW, W. T. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.133, p.670-681, 2008.

PINTO, A.C.; GUARIEIRO, L.L.N.; REZENDE, M.J.C.; RIBEIRO, N.M.; TORRES, E.A.; LOPES, W.A.; PEREIRA, P.A.P.; ANDRADE, J.B. Biodiesel: an overview. **Journal of Brazilian Chemical Society**, Campinas, v.16, n.6b, p. 1313-1330, 2005.

ROSOLEM, C. A.; BESSA, A. M.; PEREIRA, H. F. M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.9, p. 1045-1054, 1993.

SANTOS, J.A.; NUNES, L.A.P.L.; MELO, W.J.; ARAÚJO, A.S.F. Tannery sludge compost amendment rates on soil microbial biomass of two different soils. **European Journal of Soil Biology**, Wageningen, v.47, p.146-151, 2011.

SFREDO, G.J.; KLEPKER, D.; ORTIZ, F.R.; OLIVEIRA NETO, W. de. Níveis críticos de enxofre no solo para a soja, no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP/SBCS, 2003. (CD-ROM).

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2.ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas, e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. Na extration method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.19, p.703-707, 1987.

VITTI, G.C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M, S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. p.300-321.

ZHOU, C.H.; BELTRAMINI, J.N.; FAN, Y.X.; LU, G.Q. Chemoselective catalytic conversion of glycerol as a biorenewable source to valuable commodity chemicals. **Chemical Society Reviews**, Cambridge, v. 37, p.527-549, 2008.

ARTIGO CIENTÍFICO II

CULTIVO DA SOJA EM CONDIÇÕES CONTROLADAS EM SOLOS ADICIONADOS COM RESÍDUO DA INDÚSTRIA DO BIODIESEL

RESUMO

A glicerina é um resíduo proveniente das indústrias de biodiesel e com a crescente demanda de biocombustíveis, esta vem se tornando um problema nesse setor. Dessa forma, o objetivo foi de avaliar a aplicação de direta no solo da glicerina proveniente da transesterificação de triglicerídeos de óleo vegetal por catalisador básico KOH ("glicerina potássica") no cultivo da soja em condições controladas. Foram realizados dois experimentos em casa de vegetação, em Diamantina, Minas Gerais em dois tipos de solo: Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e Neossolo Quartzarênico Órtico típico (NQ). Os tratamentos foram três doses de "glicerina potássica" correspondentes 50, 100 e 200 % da dose recomendada de K para a soja e 100 % da dose recomendada na forma de KCl e K_2SO_4 e um tratamento sem aplicação de K. A dose recomendada de K foram de 150 e 100 mg dm^{-3} de K para o NQ e LVd, respectivamente. Realizou-se a análise química do solo (pH, P, K, Ca, Mg, Al, H + Al, CO e SO_4^{-2}) e a produção de grãos na colheita da soja. As análises microbiológicas (respiração microbiana basal (RB), carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente metabólico (qCO_2)) do solo realizadas em duas épocas (início da emergência e colheita da soja). A avaliação da produção de matéria seca da parte aérea e os teores foliares dos nutrientes foram realizados no florescimento da soja. A "glicerina potássica" não promoveu o crescimento da soja em comparação às outras fontes inorgânicas (KCl e K_2SO_4), mas igualou ao KCl, porém abaixo de K_2SO_4 na produção de grãos, relacionado a disponibilidade de K e não de S no cultivo da soja. A "glicerina potássica" mostrou que não provoca grandes níveis de estresse ao solo, desse modo podendo ser utilizado como fonte de K não causando impactos ambientais relacionados ao seu uso direto ao solo.

Palavras chave: Resíduos orgânicos, biomassa microbiana, solo, produção, casa de vegetação.

ABSTRACT

SOYBEAN CULTIVATION UNDER CONTROLLED CONDITIONS IN SOILS COMBINED WITH BIODIESEL INDUSTRY RESIDUE

Glycerin is a waste from the biodiesel industry and due to the growing demand for biofuels; it is becoming a problem in this sector. Thus, the objective was to assess the direct application on the soil of the vegetable oil glycerin came from transesterification of triglycerides in basic catalyst KOH ("K glycerin") in soybean cultivation under controlled conditions. Two experiments were conducted in a greenhouse, in Diamantina, Minas Gerais state, Brazil, in two soil types: Oxisol (Typic) and a sandy soil (NQ). The treatments were three doses of "glycerin K 'corresponding to 50, 100 and 200% of recommended dose of K for soybean and 100% of the dose recommended in the form of KCl and K_2SO_4 and a treatment without application of K. The recommended dose of Potassium were 150 and 100 mg dm^{-3} of K for NQ and Oxisol, respectively. There has been carried out chemical analysis of soil (pH, P, K, Ca, Mg, Al, Al + H, CO and $SO_4^{-2)}$ and grain production in soybean harvest. The microbiological analysis (microbial basal respiration (BR), microbial biomass carbon (MBC) and metabolic quotient (OKQ $_{2))}$ of soil were taken at two times (early emergence and soybean harvest). The production of dry matter of shoot and foliar concentrations of nutrients were carried out in the flowering of soybeans. The "glycerin K" did not promote the growth of soybeans compared to other inorganic sources (KCl and $K_2SO_{4),}$ but matched with KCl, but below the K_2SO_4 in grain production, related to availability of K and not S in soybean cultivation. The "K glycerin" showed that it causes high levels of stress to the soil, thus can be used as a source of K does not cause environmental impacts related to its direct use to the ground.

Key words: Organic waste, microbial biomass, soil, yield, greenhouse.

INTRODUÇÃO

O uso de resíduos orgânicos na agricultura vem se tornando uma prática comum nos últimos tempos, pois além de possuírem matéria orgânica, que pode melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, possuem nutrientes (MELLO e VITTI, 2002). Dessa forma a glicerina oriunda da indústria do biodiesel entra nesse contexto, podendo ser incluída na cadeia produtiva da soja.

A utilização de resíduos no solo pode ser recomendada pelo valor corretivo e fertilizante que estes apresentam, assim como pela capacidade da macro e microbiota do solo de decompor os materiais orgânicos, porém é necessário, estudar as alterações nas propriedades do solo e a resposta das plantas para avaliar o potencial fertilizante dos resíduos (FERREIRA et al., 2003). O uso de resíduos na agricultura tem que ser bem estudada para que não ocorram prejuízos ao meio ambiente, ao homem e aos animais (COSTA et al., 2001).

Avaliações microbiológicas como carbono da biomassa microbiana do solo, liberação do CO_2, e atividade enzimática, vêm sendo utilizada para monitoramento do impacto ambiental de resíduo municipal (lodo de esgoto) utilizado em áreas produtivas (SOUZA et al., 2009).

Este trabalho teve como objetivo de avaliar os efeitos da aplicação direta da glicerina bruta proveniente do processo de transesterificação de óleo vegetal com catalizador básico KOH (“glicerina potássica”) no cultivo da soja em condições controladas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados de dezembro de 2009 a abril de 2010, em casa de vegetação do Departamento de Agronomia da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), no município de Diamantina, MG (18°15’ S, 43°36’ W e altitude 1.400 m).

Os solos utilizados foram um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e Neossolo Quartzarênico Órtico típico (NQ) (EMBRAPA, 2006), coletados na camada superficial (0-0,20 m) nos municípios de Curvelo e Diamantina em Minas Gerais, respectivamente. O material coletado foi destorroado, secado ao ar e passado em peneira de 5 mm de abertura. Foi tomada uma subamostra e passada em peneira de 2 mm de abertura, constituindo-se, assim, terra fina seca ao ar para análises químicas (SILVA, 2009) e de textura do solo (EMBRAPA, 1997) (Tabela 1).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com seis tratamentos (Tabela 2) com quatro repetições. A dose recomendada de K foram de 150 e 100 mg dm^{-3} de K para o NQ e LVd, respectivamente. A dose foi baseada na disponibilidade de K na análise química do solo (Tabela 1) e na recomendação para o cultivo de planta em vaso proposto por Malavolta (1980). A glicerina utilizada foi produzida através do processo de transesterificação de triglicerídeos de óleo de soja após sua utilização em frituras com catalisador hidróxido de potássio (KOH) e neutralizado com ácido sulfúrico (H_2SO_4) sendo denominada no presente estudo como “glicerina potássica”. As análises dos atributos químicos da “glicerina potássica” (Tabela 3) foram realizados segundo metodologias descritas por Tedesco et al. (1995) e Melo e Silva (2008) para resíduos orgânicos. A parcela experimental foi composta por vasos de plásticos de 5,0 dm^3, não perfurados, evitando a drenagem da água e perda de nutrientes, nos quais foram colocados 4,0 dm^3 de solo seco.

A calagem foi realizada em cada solo para elevar a saturação por bases para 60% por meio do método da elevação da saturação por bases conforme recomendação de Alvarez V. e Ribeiro (1999). Utilizou-se um calcário dolomítico calcinado com 35 % de CaO, 14 % de MgO e Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) de 100 %. Os solos foram incubados nos vasos, com as respectivas doses de calcário, por um período de 30 dias, mantendo-se a umidade em torno de 60 % do volume total de poros (VTP) ocupados por água (FREIRE et al., 1980).

Tabela 1. Análise de química e de textura dos solos antes da aplicação dos experimentos.

Solo	pH água	P	K	S-SO_4^{2-}	Ca	Mg	Al	T	m	V	CO	Areia	Silte	Argila
		----mg dm^{-3}----			-----$cmol_c$ dm^{-3}-------				----%----		----------g kg^{-1}----------			
LVd	5,8	1,4	71	4,8	2,3	1,1	0,7	8,3	16	43	17,4	90	450	460
NQ	5,6	1,8	16	10,1	0,5	0,2	1,1	3,7	60	20	4,0	890	60	50

pH água: Relação solo-água 1:2,5. P e K: Extrator Mehlich-1. Ca, Mg e Al: Extrator KCl 1 mol L^{-1}. S-SO_4^{2-}: Extrator fosfato diácido de cálcio ($Ca(H_2PO_4)_2$). T: Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. m: Saturação de alumínio. V: Saturação por bases. CO: Carbono orgânico determinado pelo método Walkey-Black. Areia, silte e argila: Método da pipeta. LVd: Latossolo Vermelho distrófico e NQ: Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 2006).

Tabela 2. Descrição dos tratamentos aplicados.

Simbologia	Descrição	Quantidade aplicada	
		LVd	NQ
Controle	Sem adubação potássica	-	-
"Glicerina potássica" 1	Metade da dose de K para cultivo de planta em vaso (Malavolta, 1980) na forma de "glicerina potássica"	12 mL $vaso^{-1}$ (6,0 m^3 ha^{-1})	18 mL $vaso^{-1}$ (9,0 m^3 ha^{-1})
"Glicerina potássica" 2	Dose de K para cultivo de planta em vaso (Malavolta, 1980) na forma de "glicerina potássica"	24 mL $vaso^{-1}$ (12,0 m^3 ha^{-1})	36 mL $vaso^{-1}$ (18,0 m^3 ha^{-1})
"Glicerina potássica" 3	Dobro da dose de K para cultivo de planta em vaso (Malavolta, 1980) na forma de "glicerina potássica"	48 mL $vaso^{-1}$ (24,0 m^3 ha^{-1})	72 mL $vaso^{-1}$ (36,0 m^3 ha^{-1})
KCl	Dose de de K para cultivo de planta em vaso (Malavolta, 1980) na forma de cloreto de potássio (48% K)	833 mg $vaso^{-1}$ (417 kg ha^{-1})	1.250 mg $vaso^{-1}$ (625 kg ha^{-1})
K_2SO_4	Dose de K para cultivo de planta em vaso (Malavolta, 1980) na forma de sulfato de potássio (40% K)	1.000 mg $vaso^{-1}$ (500 kg ha^{-1})	1.500 mg $vaso^{-1}$ (750 kg ha^{-1})

Tabela 3. Análise química da "glicerina potássica"

pH	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Dens.	C.O.
	---------- kg m^{-3} ----------											kg dm^{-3}	g dm^{-3}
8,3	0	0,2	20,7	0	0	1,1	0,001	0,004	0,054	0,002	0,096	1,01	3,0

Dens.: Densidade da "glicerina potássica" e CO: Carbono orgânico

A adubação básica foi de 200 mg de P (superfosfato triplo), de 1 mg B (H_3BO_3), 1,5 mg Cu ($CuCl_2$), 5,0 mg Fe ($FeSO_4.7H_2O$-EDTA), 4,0 mg Mn ($MnCl_2.H_2O$) e 4 mg Zn ($ZnCl_2$) por dm^3 de solo. O material de solo foi novamente incubado por 30 dias, e manteve-se a umidade nos mesmos níveis anteriores. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*

Cultivaram-se duas plantas de soja cultivar MSOY-8001, safra 2008/2009, peneira 6,0 mm por vaso. Durante o cultivo da soja, a umidade dos solos foi mantida em torno de 60% do

VTP ocupados por água, por meio de pesagens diárias dos vasos e adição de água deionizada (FREIRE et al., 1980).

No florescimento (estádio R2), uma planta de soja foi colhida, com corte rente ao solo, para avaliação da matéria seca da parte aérea e retirada a folha diagnóstico para determinação dos nutrientes conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997) para avaliação do estado nutricional.

No final do ciclo, na maturação fisiológica dos grãos (estádio R9), foi avaliada a produção de grãos de soja por vaso, com teor de água dos grãos corrigida para 13 % e feita amostragem do solo nos vasos para as análises químicas. As análises químicas do solo foram: pH em água; P e K (Mehlich-1); Ca, Mg e Al (KCl 1 mol L^{-1}); acidez potencial (H + Al) pelo acetato de cálcio, carbono orgânico (CO) pelo método Walkey-Black (EMBRAPA, 1997; SILVA, 2009) e sulfato (SO_4^{-2}) extraído pelo extrator $Ca(H_2PO_4)_2$ com 500 mg L^{-1} de P em ácido acético 2 mol L^{-1} (HOEFT et al., 1973) e determinado por turbidimetria (ALVAREZ et al., 2001).

Para as análises microbiológicas do solo foram coletadas amostras de cada parcela experimental no início da emergência das plântulas e na colheita das plantas de soja. Foi avaliada a respiração microbiana basal (Rbasal) (ALEF e NANNIPIERI, 1995)**,** o carbono da biomassa microbiana (Cmic) pelo método da fumigação-extração (VANCE et al., 1987) e a hidrólise do diacetato de fluoresceína (FRIGHETTO e VALARINI, 2000). O quociente metabólico (qCO_2) foi calculado pela razão entre a taxa de Rbasal e o Cmic (ANDERSON e DOMSCH, 1993), sendo expresso em μg CO_2 μg $Cmic^{-1}$ dia^{-1}.

As variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade.

RESULTADOS

No solo LVd a matéria seca da parte aérea (MSPA) em K_2SO_4 foi maior que os demais e estes não diferiram entre si, já no NQ não houve diferença (Figura 1). Assim como na MSPA, o tratamento K_2SO_4 no LVd obteve a maior produção de grãos, sendo 140 % superior da segunda maior produção no controle (Figura 2). No NQ a produção de grãos foi crescente com aumento da dose de K aplicada de "glicerina potássica" e assim como no LVd a maior produção deu-se no K_2SO_4 (72,8 %) maior que a segunda maior produção no "glicerina potássica" 3 e KCl (Figura 2).

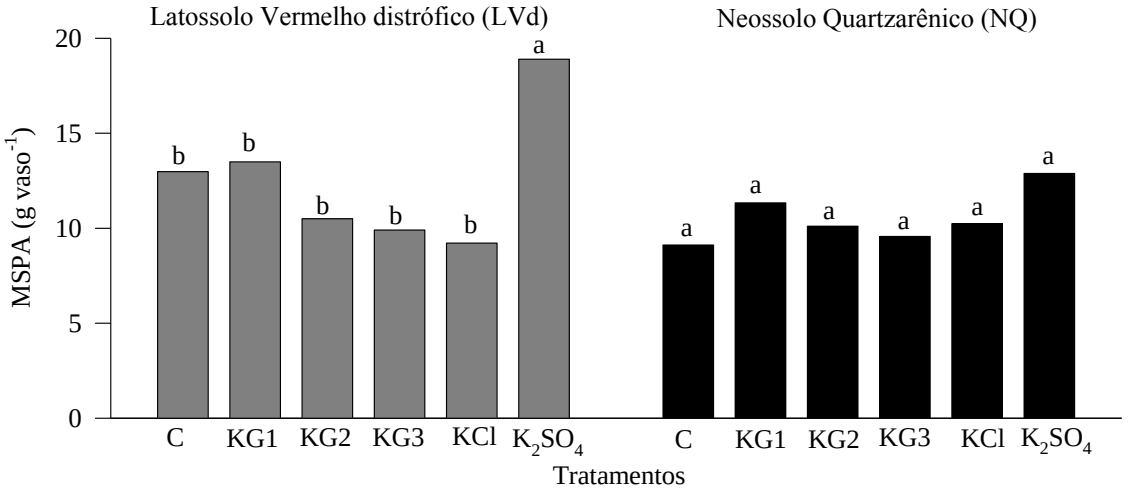

Figura 1. Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas de soja em função dos tratamentos cultivada em dois tipos de solo. Médias seguidas com as mesmas letras dentro de cada tipo de solo não diferem pelo teste de Scott & Knott a 5%. (C: Controle; KG1, KG2 e KG3: "Glicerina potássica" 1, 2 e 3; KCl: cloreto de potássio e K_2SO_4: sulfato de potássio).

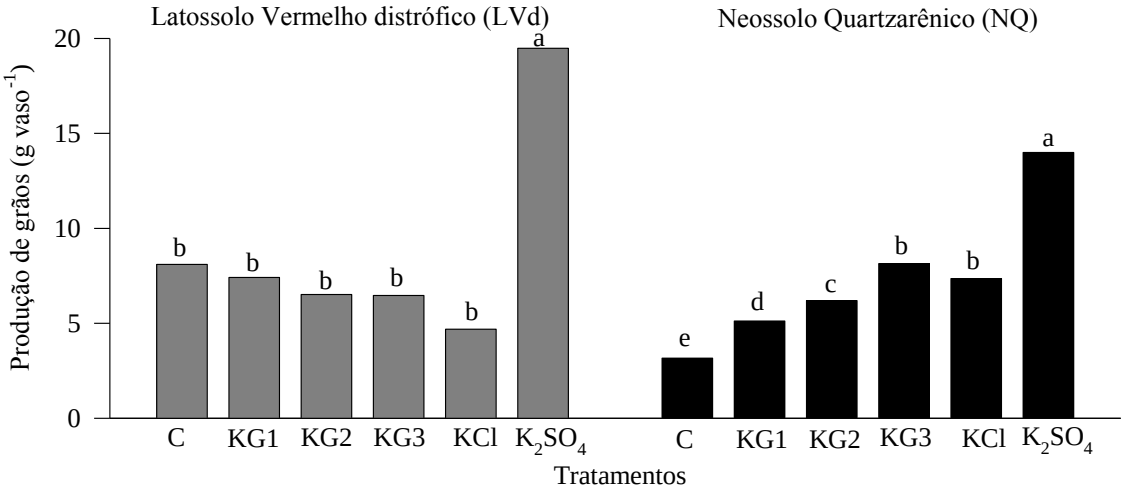

Figura 2. Produção de grãos de soja em função dos tratamentos cultivada em dois tipos de solo. Médias seguidas com as mesmas letras dentro de cada tipo de solo não diferem pelo teste de Scott & Knott a 5%. (C: Controle; KG1, KG2 e KG3: "Glicerina potássica" 1, 2 e 3; KCl: cloreto de potássio e K_2SO_4: sulfato de potássio).

Após o período experimental houve melhorias nos atributos químicos dos dois solos (Tabela 4). Os teores de P e K tiveram grande variação entre os tratamentos, no P houve uma variação de 760 % entre o menor e maior teor, sendo o menor teor em “glicerina potássica” 1 e o maior KCl no LVd enquanto no NQ essa variação foi de 152 % sendo o menor no Controle e o maior em KCl, todos valores de P foram maiores que na análise inicial do solo (Tabela 1). O K variou em 243 %, com menor teor em K_2SO_4 e maior em KCl no LVd e 713 % no NQ mostrando menor valor no Controle e maior em KCl, os valores da análise final foram em geral menores que na análise inicial (Tabela 1). No S-SO_4^{-2} houve variação de 54 % entre os tratamentos no LVd, enquanto no NQ apenas em K_2SO_4 ($p<0,05$) entre o Controle (Tabela 4). O Ca em LVd, o maior valor foi no Controle e menor em K_2SO_4 (Tabela 4). O Mg reduziu em K_2SO_4 em relação ao Controle no LVd, no NQ os tratamentos KCl e K_2SO_4 aumentaram em relação ao Controle (Tabela 4). O Al houve redução em todos os tratamentos em relação à análise inicial (Tabela 1), da mesma forma ocorreu na saturação de Al (m%) (Tabela 4). A CTC a pH 7,0 (T) aumentou em relação a análise inicial (Tabela 1) no LVd, e no NQ em KCl e K_2SO_4 aumentou em relação ao valor inicial e foram maiores que o Controle (Tabela 4). A saturação por bases (V) houve variação entre os tratamentos em LVd, porém comparando com a análise inicial, manteve-se no mesmo patamar, já no NQ houve uma aumento em relação ao valor inicial e somente em K_2SO_4 houve redução (Tabela 4). O carbono orgânico (CO) teve uma tendência de reduzir no LVd e NQ em relação a análise inicial (Tabela 1). No LVd os valores foram menores que o Controle, entretanto no NQ todos valores foram maiores que o Controle (Tabela 4).

Não houve diferença no teor foliar de N em LVd, porém em NQ, o maior teor de N foliar foi “glicerina potássica” 1 e K_2SO_4 e menor teor em KCl (Tabela 5). O teor foliar de P no LVd não alterou, enquanto que no NQ apresentou o maior valor em “glicerina potássica” 1 e menor em KCl (Tabela 5). O teor foliar de K em LVd somente o K_2SO_4 foi igual ao Controle e os demais apresentaram maiores valores, e em NQ somente a “glicerina potássica” 1 foi igual ao Controle e os demais aumentaram seu valor (Tabela 5). O teor foliar de Ca não modificou em LVd, mas em NQ ocorreu com menor valor em KCl e maior em “glicerina potássica” 3 (Tabela 5). O teor de foliar de Mg em LVd, apresentou os maiores valores foram em “glicerina potássica” 2 e KCl, e em NQ o teor de Mg reduziu em relação ao Controle (Tabela 5). O teor foliar de S em LVd apresentou menor valor em “glicerina potássica” 3 e KCl e maior em K_2SO_4, e em NQ apresentou valores superiores que LVd, sendo o menor valor em Controle e maior em “glicerina potássica” 3 e K_2SO_4 (Tabela 5).

Tabela 4. Resultados das análises químicas dos solos em função dos tratamentos após a colheita da soja.

Trat[1/]	pH	P	K	$S\text{-}SO_4^{2-}$	Ca	Mg	Al	T	m	V	C.O
		----------mg dm^{-3}----------			----------$cmol_c$ dm^{-3}----------				--------%--------		-g kg^{-1}-
	---------- Latossolo Vermelho distrófico (LVd) ----------										
C	5,7 a	21,3 e	51,4 c	13,2 a	4,5 a	1,2 a	0,11 e	13,1 a	1,8 d	45,0 a	17 a
KG1	5,2 a	17,9 e	63,8 b	9,1 c	3,4 b	1,2 a	0,23 b	12,0 a	4,6 b	39,4 b	16 b
KG2	6,0 a	80,4 c	56,5 c	11,9 a	3,4 b	1,1 a	0,19 c	10,4 b	4,0 b	44,5 a	13 d
KG3	5,7 a	107,0 b	66,1 b	10,5 b	3,1 b	1,1 a	0,23 b	10,4 b	5,0 b	42,5 b	13 d
KCl	5,7 a	154,0 a	127,1 a	10,8 b	3,4 b	1,1 a	0,15 d	10,5 b	3,0 c	46,5 a	11 e
K_2SO_4	5,2 a	35,8 d	37,0 d	8,3 c	2,4 c	0,6 b	0,54 a	10,2 b	14,4 a	31,4 c	14 c
	---------- Neossolo Quartzarênico (NQ) ----------										
C	6,3 a	30,1 d	4,6 e	19,8 b	1,7 a	0,63 b	0,02 a	3,7 b	0,83 a	63,7 a	1,3 b
KG1	6,5 a	36,3 c	9,3 c	18,6 b	1,7 a	0,55 b	0,02 a	3,6 b	0,88 a	61,9 a	2,4 a
KG2	6,4 a	48,9 b	7,7 d	19,2 b	1,7 a	0,58 b	0,02 a	3,7 b	0,85 a	60,6 a	2,2 a
KG3	6,3 a	37,3 c	10,7 c	19,9 b	1,7 a	0,52 b	0,02 a	3,7 b	0,83 a	61,8 a	2,3 a
KCl	6,3 a	76,5 a	37,4 a	19,5 b	1,8 a	0,76 a	0,02 a	4,2 a	0,70 b	63,6 a	2,7 a
K_2SO_4	6,2 a	52,9 b	13,7 b	28,7 a	1,4 a	0,74 a	0,02 a	3,9 a	0,88 a	56,6 b	2,8 a

Médias seguidas com as mesmas letras dentro de cada tipo de solo não diferem pelo teste de Scott & Knott a 5%.
[1/] C: Controle; KG1, KG2 e KG3: "Glicerina potássica" 1, 2 e 3; KCl: cloreto de potássio e K_2SO_4: sulfato de potássio

Tabela 5. Teores de nutrientes nas folhas da soja em função dos tratamentos cultivada em dois tipos de solo.

Trat[1/]	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	---------- g kg^{-1} ----------						----------mg kg^{-1}----------				
	---------- Latossolo Vermelho distrófico (LVd) ----------										
C	40 a	1,3 a	8,6 b	11 a	0,8 b	0,6 b	65,9 a	7,6 a	39,1 b	39,1 b	29,1 b
KG1	45 a	1,3 a	10,8 a	12 a	0,8 b	0,5 b	68,1 a	6,7 a	42,1 b	56,7 a	31,3 b
KG2	46 a	1,4 a	9,8 a	13 a	1,2 a	0,6 b	62,1 a	7,9 a	30,7 c	38,2 b	32,6 b
KG3	46 a	1,3 a	10,2 a	11 a	0,8 b	0,4 c	55,6 b	7,4 a	28,0 c	43,1 b	30,9 b
KC	47 a	1,4 a	11,4 a	13 a	1,2 a	0,4 c	64,0 a	8,8 a	27,6 c	53,5 a	37,7 a
KS	49 a	1,5 a	7,9 b	12 a	0,8 b	1,3 a	53,2 b	8,2 a	46,8 a	52,5 a	26,3 b
	---------- Neossolo Quartzarênico (NQ) ----------										
C	50 b	1,4 b	2,5 d	16 b	6,8 a	2,7 b	92,9 a	14,4 a	22,8 c	8,3 c	50,7 b
KG1	59 a	1,7 a	3,1 d	16 b	5,6 b	2,9 b	87,3 a	16,6 a	17,9 c	11,5 b	55,5 b
KG2	52 b	1,2 b	3,8 c	15 c	4,4 c	3,8 a	63,4 b	15,1 a	19,9 c	8,6 c	51,7 b
KG3	48 b	1,4 b	4,3 c	18 a	4,8 c	3,9 a	75,2 b	14,7 a	17,3 c	9,9 c	67,1 a
KC	33 c	0,8 c	9,2 b	13 d	2,8 d	3,1 b	64,4 b	15,8 a	31,4 b	11,3 b	46,2 b
KS	59 a	1,3 b	10,6 a	17 a	3,2 d	3,9 a	74,5 b	14,4 a	54,7 a	13,7 a	46,8 b

Médias seguidas com as mesmas letras dentro de cada tipo de solo não diferem pelo teste de Scott & Knott a 5%.
[1/] C: Controle; KG1, KG2 e KG3: "Glicerina potássica" 1, 2 e 3; KCl: cloreto de potássio e K_2SO_4: sulfato de potássio

Em relação aos micronutrientes, o teor foliar de B na folha diagnóstico da soja, em LVd apresentou menor valor em K_2SO_4 e maior em "glicerina potássica" 1, enquanto no NQ o menor valor deu-se em "glicerina potássica" 2 e maior em Controle (Tabela 5). O teor de Cu não houve diferença nos dois solos, mas no NQ os valores mostraram-se superiores que LVd (Tabela 5). O teor foliar de Fe em LVd foi maior em K_2SO_4 e menor em KCl, em NQ o menor teor foi em "glicerina potássica" 3 e o maior em K_2SO_4 (Tabela 5). O teor de Mn em LVd, apresentou menor valor em "glicerina potássica" 2 e maior em "glicerina potássica" 1 e no

NQ menor valor foi em Controle e maior em K_2SO_4 (Tabela 4). O teor de Zn, o menor valor no LVd foi em K_2SO_4 e o maior em KCl, e no NQ o menor valor foi em KCl e maior em "glicerina potássica" 3 (Tabela 5).

Na atividade microbiana medida pela hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA), houve aumento entre as épocas sendo menor na emergência e maior na colheita da soja (Tabela 6). A respiração microbiana basal (RB) reduziu entre as épocas de avaliação nos dois solos, sendo os maiores valores na emergência e somente não houve diferença da RB entre os tratamentos no LVd na avaliação da colheita da soja (Tabela 6). Os valores de carbono da biomassa microbiana (CBM) entre as épocas, no LVd a tendência foi de aumentar com o tempo enquanto no NQ diminuiu com o tempo e não houve diferença entre os tratamentos na colheita da soja no NQ (Tabela 6). Os valores de quociente metabólico (qCO_2) somente na "glicerina potássica" 2 no NQ não houve diferença entre épocas de avaliação, onde a tendência foi reduzir o valor com a passar do tempo, exceto em KCl e K_2SO_4 no NQ que aumentaram (Tabela 6).

Tabela 6. Resultados das análises microbiológicas dos solos na emergência (E1) e na colheita (E2) da soja em função dos tratamentos.

Trat[1/]	FDA (Hidrólise do diacetato de fluoresceína)		RB (Respiração microbiana basal)		CBM (Carbono da biomassa microbiana)		qCO_2 (Quociente metabólico)	
	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2
	µg FDA g solo^{-1} h^{-1}		µg CO_2 g solo^{-1} h^{-1}		µg Cmic g solo^{-1}		µg CO_2 µg Cmic^{-1} dia^{-}	
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)								
C	0,61 Bd	3,08 Aa	4,48 Aa	1,54 Ba	71,4 Bb	192,0 Ab	1,51 Aa	0,19 Ba
KG1	0,75 Bd	2,48 Ab	3,40 Ac	1,59 Ba	71,7 Bb	191,3 Ab	1,14 Ab	0,20 Ba
KG2	1,60 Bb	2,57 Ab	3,33 Ac	1,65 Ba	108,1 Ba	179,1 Ab	0,74 Ac	0,22 Ba
KG3	1,94 Ba	2,44 Ab	3,65 Ac	1,35 Ba	129,8 Ba	158,0 Ab	0,69 Ad	0,21 Ba
KCl	1,01 Bc	2,06 Ac	3,69 Ac	1,60 Ba	143,1 Ba	176,6 Ab	0,63 Ad	0,23 Ba
K_2SO_4	0,63 Bd	1,71 Ad	3,98 Ab	1,92 Ba	116,6 Ba	282,6 Aa	0,82 Ac	0,16 Ba
Neossolo Quartzarênico (NQ)								
C	0,69 Ba	1,15 Ab	4,72 Ab	1,65 Bb	237,0 Ab	139,3 Ba	0,48 Ab	0,28 Bc
KG1	0,70 Ba	1,58 Aa	4,42 Ab	1,40 Bb	229,0 Ab	120,5 Ba	0,46 Ab	0,28 Bc
KG2	0,82 Aa	0,54 Bd	3,38 Ac	1,45 Bb	222,5 Ab	116,9 Ba	0,37 Ac	0,30 Ac
KG3	0,67 Ba	0,94 Ac	5,17 Aa	2,29 Ba	172,5 Ac	95,7 Ba	0,72 Aa	0,57 Ba
KCl	0,38 Bb	0,88 Ac	3,83 Ac	2,34 Ba	324,8 Aa	116,1 Ba	0,29 Bc	0,48 Ab
K_2SO_4	0,44 Bb	0,85 Ac	4,40 Ab	2,04 Ba	344,1 Aa	116,5 Ba	0,31 Bc	0,42 Ab

Médias seguidas com as mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo teste de Scott & Knott a 5%.

[1/] C: Controle; KG1, KG2 e KG3: "Glicerina potássica" 1, 2 e 3; KCl: cloreto de potássio e K_2SO_4: sulfato de potássio

DISCUSSÃO

No LVd a diferença da matéria seca da parte aérea deu-se apenas em K_2SO_4, e na produção de grãos de soja também apenas o K_2SO_4 se destacou, fatos que podem ser

explicados pela fonte K_2SO_4 possuir S em sua formulação, pois o S é constituinte de aminoácidos e proteínas que possuem funções estruturais (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA, 2006).

O solo LVd apresentava melhores condições químicas que o NQ antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 1) e assim se manteve ao final do período experimental (Tabela 4). Nota-se que de maneira geral, em K_2SO_4 apresentou menores valores de nutrientes, fato justificado devido ao maior produção de matéria seca da planta de soja (Figura 1), onde quanto maior a quantidade de matéria seca, maior é a quantidade de nutrientes absorvidos pela planta.

A variação do K na análise do solo (Tabela 4) é devido aos tratamentos, que foram diferentes doses e fontes de K e a variação maior em NQ deu-se devido este solo possuir baixo teor inicial de K enquanto o LVd o teor era médio (Tabela 1). Dessa forma, a recomendação da adubação potássica foi feita de acordo com a análise química do solo. E no NQ o fator limitante a produção foi o K onde estes apresentam teores médios entre 41 a 70 mg dm^{-3} a baixos entre 16 a 40 mg dm^{-3} (ALVAREZ V. et al., 1999).

O teor de enxofre ($S\text{-}SO_4^{-2}$) nos dois solos está na sua maioria com teores altos entre 3,0 a 10,0 mg dm^{-3} (SFREDO, 2003), no caso do LVd a diferença do K_2SO_4 entre os demais tratamentos é devido a este ter apresentado uma maior produção de matéria seca (Figura 2). Já no NQ, o K_2SO_4 apresentou maior teor no solo, devido ao fertilizante utilizado que possui 17 % de S em sua formulação e ao contrário do LVd, não ocorreu diferenças entre a produção de matéria seca nesse solo (Figura 2).

A variação do Ca e Mg no solo é devido a competição entre o K, pois segundo Oliveira (2001) os índices de disponibilidade de K no solo relativos aos teores de Ca e de Mg, tanto do complexo de troca quanto da solução do solo, estão diretamente correlacionados com a nutrição potássica da soja.

A produção de matéria seca da parte aérea e de grãos da soja no LVd foram maiores provavelmente devido ao teor de S na planta, onde este foi o nutriente que se destacou em relação aos demais nas análises foliares (Tabela 5) para avaliação do estado nutricional. O S é uma macronutriente constituinte dos aminoácidos cisteína e metionina, portanto de proteínas, essenciais a todas as células (MARSCHNER, 1995). Já no NQ, o K foi o nutriente de maior influencia na produção de matéria seca da parte aérea e grãos da soja, sendo assim o provável fator para que a produção fosse maior. O macronutriente K pode ser considerado como integrante de funções bioquímicas de um ou mais processos, como: translocação de açúcares, abertura e fechamento de estômatos, regulação osmótica (MALAVOLTA, 2006).

O teor foliar de N está dentro da faixa adequada para soja de 36,8 a 46,9 g kg^{-1} (KURIHARA et al., 2008). Entre os micronutrientes, o B está acima da faixa ideal de 52 a 60 mg kg^{-1} (HARGER, 2008), porém não causando toxidez as plantas de soja. O teor foliar de Cu no LVd está pouco abaixo da faixa ideal e no NQ ficou acima de 8 a 11 mg kg^{-1} (HARGER, 2008). Essa diferença é devido à presença de íons metálicos (Al, Fe e Mn) que diminuem a disponibilidade de Cu, independente da textura do solo (ABREU, 2007). O teor foliar de Fe está abaixo da faixa ideal de 119 a 211 mg kg^{-1} (HARGER, 2008), mas sem sinal de deficiência visual deste nutriente nas plantas de soja. O teor de Mn no LVd encontra-se dentro da faixa ideal enquanto no NQ o valor está abaixo de 40 a 94 mg kg^{-1} (HARGER, 2008), isso devido a textura do solo e baixa CTC (ABREU, 2007). O teor de Zn nas folhas da soja se encontra acima da faixa ideal de 22 a 38 mg kg^{-1} (HARGER, 2008), porém não apresentou toxidade.

O FDA representa os microorganismos ativos no solo (SODERSTROM, 1977; LUNDGREN, 1981). De maneira geral, no LVd o FDA foi superior ao NQ, a possível causa pode ter sido os melhores atributos químicos deste solo, já que a natureza dos materiais afetam o metabolismo celular (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). O baixo valor do FDA nos tratamentos com fontes inorgânicas pode ser devido às mesmas conseguirem suprir a necessidade nutricional das plantas, porém não adicionam C para o aumento de microrganismos (CHAKRABORTY et al., 2011). O aumento na colheita em relação à emergência pode ser devido ao período experimental longo, que promoveu aumento nos microrganismos ativos.

A redução do valor da RB no LVd em relação ao Controle pode ter ocorrido devido a algum efeito tóxico das fontes de K sobre os microrganismos na emergência. Já no NQ, em "glicerina potássica" 2 e KCl apresentou efeito tóxico, por outro lado em "glicerina potássica" 3 ocorreu estímulo, devido à maior quantidade de C adicionado pela fonte orgânica, que pode ter causado um estresse e em resposta para combatê-lo, os microrganismos aumentaram sua atividade metabólica (MORENO et al., 1999). A redução da RB na emergência em relação a colheita (Tabela 6), possivelmente é devido ao período experimental que pode ter proporcionado a diminuição do estresse inicial (MORENO et al., 1999).

O CBM no LVd aumentou devido ao acréscimo das fontes de K, devido a adição de composto orgânico e as fontes inorgânicas que estimularam o aumento da biomassa microbiana na emergência (Tabela 6). No NQ, o tratamento "glicerina potássica" 3 pode ter causado um efeito tóxico à biomassa microbiana e com isso ocorreu à redução, por outro lado as fontes inorgânicas estimularam a biomassa aumentando seu valor em relação ao Controle,

pois fertilizantes inorgânicos podem alterar as condições ambientais desse meio, podendo modificar os atributos do solo (CHAKRABORTY et al., 2011), possibilitando assim aumento no CBM. Em relação às épocas de avaliação (emergência e colheita), como nas outras análises, apresentou poucas diferenças nos dois solos ao final do período experimental, possivelmente condicionado a exaustão dos nutrientes (JEDIDI et al., 2004).

O qCO_2 é uma relação entre a RB e CBM (MORENO et al., 1999), e pode mostrar o estresse da população microbiana em estudo (ANDERSON e DOMSCH, 1993), dessa forma maiores valores na emergência pode ser devido a adição das fontes que provocaram estresse ao meio, sendo que na colheita o equilíbrio da RB e CBM, proporcionaram com que os valores diminuíssem, confirmando assim um meio com menor estresse. Porém no NQ os tratamentos "glicerina potássica" 3, KCl e K_2SO_4, os valores foram mais altos, pode ser devido ao período experimental que não foi o suficiente para a estabilização do sistema (MORENO et al., 1999).

O uso da glicerina não causou estresse ao solo, podendo ser utilizada como fertilizante a cultura da soja. A glicerina como fonte de K, teve uma resposta positiva, pois se equivaleu com o cloreto de potássio (KCl) sem causar danos ao solo e a planta. Dessa forma a "glicerina potássica" a priori surge como uma fonte alternativa de K, porém mais estudos são necessários para o maior entendimento da dinâmica desse resíduo.

CONCLUSÕES

1. O resíduo da indústria do biodiesel ("glicerina potássica") não promoveu o crescimento da soja em comparação às outras fontes inorgânicas (KCl e K_2SO_4), mas igualou ao KCl, porém abaixo de K_2SO_4 na produção de grãos, relacionado a disponibilidade de K e não de S no cultivo da soja.

2. A "glicerina potássica" mostrou que não provoca grandes níveis de estresse ao solo, desse modo podendo ser utilizado como fonte de K não causando impactos ambientais relacionados ao seu uso direto ao solo.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de mestrado. A Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, pela infraestrutura necessária para condução do experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. b-Glucosidase activity. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. p.350-352.

ABREU, C.A.; LOPES, A.S.; SANTOS, G.C.G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NE-VES, J.C.L. (eds). **Fertilidade do Solo.** Viçosa: SBCS, 2007, p. 645-736.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** Viçosa: CFSEMG, 1999. p.25-32.

ALVAREZ, V., V.H.; DIAS, L.E.; RIBEIRO JÚNIOR, E.S.; SOUZA, R.B.; FONSECA, C.A. **Métodos de análises de enxofre em solos e plantas**. Viçosa: UFV, 2001. 131p.

ALVAREZ, V., V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** 5ª Aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.43-60.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotiente (qCO_2) as a specifc activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.25, n.3, p. 393-395, 1993.

CHAKRABORTY, A.; CHAKRABARTI, K.; CHAKRABORTY, A.; GHOSH, S. Effect of long-term fertilizers and manure application on microbial biomass and microbial activity of a tropical agricultural soil. **Biology and Fertility of Soils,** Oxford, v.47, p.227-233, 2011.

COSTA, C.N.; CASTILHOS, D.D.; CASTILHOS, R.M.V.; KONRAD, E.E.; PASSIANOTO, C.C.; RODRIGUES, C.G. Efeito da adição de lodos de curtume sobre as alterações químicas do solo, rendimento de matéria seca e absorção de nutrientes em soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.7 n 3, p.189-191, 2001.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ**). Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: SPI, 2006. 306p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise do solo.** Brasília: Produção de Informação, 1997. 212p.

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; TEDESCO, M.J.; BISSANI, C.A. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.755-763, 2003.

FREIRE, J.C.; RIBEIRO, M.A.V.; BAHIA, G.V.; LOPES, A.S.; AQUINO, L.H. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solo da região de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, n.1, p. 5-8, 1980.

FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. **Indicadores biológicos e bioquímicos da**

qualidade do solo: manual técnico. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 198p.

HARGER, N. **Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em soja, definidas pelo uso do método DRIS, para solos de origem basáltica.** Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2008. 88p. (Tese de Doutorado)

HOEFT, R.G.; WALSH, L.M.; KEENEY, D.R. Evaluation of various extractants for available soil sulfur. **Soil Science Society America Proceedings,** Madison, v.37, n.2, p. 401-404, 1973.

JEDIDI, N.; HANSSEN, A.; CLEEMPUT, O.V.; M'HIRI, A. Microbial biomass in a soil amended with different types of organic wastes. **Waste Management & Research**, Elmsford v.22, n.2, p. 93-99, 2004.

KURIHARA, C. H.; STAUT, L. A.; MAEDA, S. Faixas de suficiência de nutrientes em folhas de soja, em Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, definidas pelo uso do método DRIS de diagnose do estado nutricional. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 30., 2008, Londrina. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2008. (Embrapa Soja. Documentos, 304).

LUNDGREN, B. Fluorescein diacetate as a stain of metabolically active bacteria in soil. **Oikos**, Copenhagen, v.36, n.1, p.17-22, 1981.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo. Ceres. 2006. 638 p

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas:** princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 2th ed. London: Academic Press, 1995. 887 p.

MELLO, S.C.; VITTI, G.C. Desenvolvimento do tomateiro e modificações nas propriedades químicas do solo em função da aplicação de resíduos orgânicos, sob cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 200-206, 2002.

MELO, L.C.A.; SILVA, C.A. Influência de métodos de digestão e massa de amostra na recuperação de nutrientes em resíduos orgânicos. **Química Nova**, São Paulo, v.31, n.3, p.556-561, 2008.

MOREIRA, F. M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** 2 ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MORENO, J.L.; HERNANDEZ, T.; GARCIA, C. Effects of cadmium contaminated sewage sludge compost on dynamics of organic matter and microbial activity in an arid soil. **Biology and Fertility of Soils,** Oxford, v.28, n.2, p.230-237, 1999.

OLIVEIRA, F.A.; CARMELLO, Q.A.C.; MASCARENHAS, H.A.A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-de-vegetação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.2, p.329-335, 2001.

SFREDO, G.J.; KLEPKER, D.; ORTIZ, F.R.; OLIVEIRA NETO, W. de. Níveis críticos de enxofre no solo para a soja, no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP/SBCS, 2003. (CD-ROM).

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2.ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627p.

SODERSTROM, B. E. Vital staining of fungi in pure cultures and in soil with fluorescein diacetate. **Soil Biology** and **Biochemistry**, Elmsford, v.9, p.59-63, 1977.

SOUZA, C.A.; JUNIOR, F.B.R.; MENDES, I.C.; LEMAINSKI, J.; SILVA, J.E. **Efeitos do uso de lodo de esgoto na nodulação da soja e em atributos biológicos do solo.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. 23p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 250).

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas, e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. Na extration method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.19, p.703-707, 1987.

CONCLUSÃO GERAL

A glicerina transesterificada com catalisador básico (KOH) possui potencial para ser utilizado diretamente ao solo como fonte de potássio na cultura da soja, sem causar impactos ambientais, porém mais estudos dever ser realizados com avaliação em longo prazo, devido ao não conhecimento deste resíduo da indústria do biodiesel.

ANEXO

Artigo científico I

Tabela 1A. Resumo da análise de variância para os atributos químicos do Latossolo Vermelho distrófico.

FV	GL	Quadrado Médio					
		pH	P	K	S	Ca	Mg
Bloco	3	0,0250	0,8615	103,44	3,9317	0,0160	0,0593
Tratamento	5	0,0817	161,40**	4411,57**	170,36**	0,0407	0,6334
Erro	15	0,0397	4,6955	249,54	5,7327	0,3370	0,3203
CV (%)		3,38	12,56	12,26	10,63	15,74	39,60
Média Geral		5,8917	17,24	123,83	22,52	3,6875	1,4292
		Al	T	m	V	C,O	
Bloco	3	0,0000	0,3389	0,0004	33,60	0,0282	
Tratamento	5	0,0073**	0,1817	3,0132**	72,10	0,0104	
Erro	15	0,0000	0,6059	0,0275	55,72	0,0522	
CV (%)		12,05	7,80	12,58	13,60	16,98	
Média Geral		0,0704	9,9833	1,3196	54,87	1,3458	

*=significativo a 5%; **=significativo a 1%

Tabela 2A. Resumo da análise de variância para os atributos químicos do Neossolo Quartzarênico.

FV	GL	Quadrado Médio					
		pH	P	K	S	Ca	Mg
Bloco	3	0,0094	0,5694	0,0211	1,5715	0,0023	0,0006
Tratamento	5	0,0807**	145,10**	1649,14 **	494,37**	0,1070**	0,0176**
Erro	15	0,0111	1,2421	10,0161	8,33	0,0053	0,0031
CV (%)		1,94	4,64	7,06	9,11	7,45	16,23
Média Geral		5,4417	24,02	44,83	31,68	0,9754	0,3462
		Al	T	m	V	CO	
Bloco	3	0,000038	0,0268	0,0891	1,7960	0,0022	
Tratamento	5	0,0106**	0,3973	37,57**	50,02*	0,0111	
Erro	15	0,000074	0,2952	0,3434	17,05	0,0085	
CV (%)		8,65	12,24	9,00	12,67	20,38	
Média Geral		0,0996	4,4387	6,5125	32,60	0,4537	

*=significativo a 5%; **=significativo a 1%

Tabela 3A. Resumo da análise de variância para os teores foliares do Latossolo Vermelho distrófico.

FV	GL	Quadrado Médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Bloco	3	0,6104**	0,00012	0,1703**	0,0593**	0,0002*	0,0008*
Tratamento	5	0,0694	0,00003	0,0189	0,0097	0,00003	0,0050**
Erro	15	0,0447	0,00005	0,0239	0,0086	0,00004	0,0002
CV (%)		7,75	15,47	7,42	8,89	22,30	10,84
Média Geral		2,7292	0,0442	2,0829	1,0442	0,0297	0,1175
		B	Cu	Fe	Mn	Zn	
Bloco	3	64,68**	0,0009	429,93*	34,88**	120,25**	
Tratamento	5	4,21258	0,0030	100,86	5,5578	5,85	
Erro	15	4,57608	0,0212	88,76	3,9837	12,46	
CV (%)		6,74	7,54	13,13	8,70	12,04	
Média Geral		31,73	1,9325	71,78	22,95	29,31	

*=significativo a 5%; **=significativo a 1%

Tabela 4A. Resumo da análise de variância para os teores foliares do Neossolo Quartzarênico.

FV	GL	Quadrado Médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Bloco	3	0,2279	0,0017**	0,0540	0,2582**	0,0001	0,0005
Tratamento	5	0,0747	0,0001	1,4281**	0,3114**	0,0021**	0,0028**
Erro	15	0,1114	0,0002	0,0371	0,0465	0,00008	0,0003
CV (%)		7,71	12,43	15,21	14,59	12,57	12,21
Média Geral		4,3279	0,1121	1,2667	1,4779	0,0692	0,1527
		B	Cu	Fe	Mn	Zn	
Bloco	3	0,2582**	0,0025*	330,64**	46,11	30,53	
Tratamento	5	0,3114**	0,0003	391,33**	121,99*	63,70**	
Erro	15	0,0465	0,0005	34,13	30,27	10,24	
CV (%)		14,59	1,10	8,11	14,16	12,43	
Média Geral		1,4779	1,9604	72,01	38,85	25,75	

*=significativo a 5%; **=significativo a 1%

Tabela 5A. Resumo da análise de variância para as análises microbiológicas do Latossolo Vermelho distrófico.

FV	GL	Quadrado Médio			
		FDA	RB	CBM	qCO_2
Bloco	3	0,0316	0,0077	291,46	0,0004
Tratamento	5	0,4766**	1,7562**	61010,14**	0,0697**
Erro 1	15	0,1034	0,0161	283,54	0,0005
Época	1	108,06**	24,57**	6816,33**	0,3201**
Trat x Ep	5	0,7015**	1,1584**	18752,96**	0,0408**
Erro 2	18	0,1247	0,0118	423,07	0,0003
CV (%)1		12,92	7,71	8,15	9,91
CV (%)2		14,19	6,61	9,95	8,39
Média Geral		2,4879	1,6475	206,72	0,2237

*=significativo a 5%; **=significativo a 1%

Tabela 6A. Resumo da análise de variância para as análises microbiológicas do Neossolo Quartzarênico.

FV	GL	Quadrado Médio			
		FDA	RB	CBM	qCO_2
Bloco	3	0,1094	0,0245	404,17	0,0004
Tratamento	5	0,1331	4,8938**	20170,21**	0,0876**
Erro 1	15	0,0668	0,0555	412,18	0,0025
Época	1	14,88**	0,9804**	75232,88**	0,2567**
Trat x Ep	5	0,2933**	1,1503**	23718,85**	0,0714**
Erro 2	18	0,0603	0,0726	301,18	0,0011
CV (%)1		16,14	8,77	9,66	14,45
CV (%)2		15,34	10,03	8,26	9,42
Média Geral		1,6014	2,6875	210,23	0,3498

*=significativo a 5%; **=significativo a 1%

ANEXO

Artigo científico II

Tabela 1A. Resumo da análise de variância para os atributos químicos do Latossolo Vermelho distrófico.

FV	GL	Quadrado Médio					
		pH	P	K	S	Ca	Mg
Tratamento	5	0,3750	11830,57**	3905,14**	13,06**	1,8394**	0,1948**
Erro	18	0,2083	36,93	36,54	1,2241	0,0849	0,0290
CV (%)		8,11	8,75	9,02	10,40	8,59	15,5
Média Geral		5,6250	69,44	66,98	10,64	3,3917	1,0687
		Al	T	m	V	C,O	
Tratamento	5	0,0945**	5,5572**	82,04**	123,07**	0,1559**	
Erro	18	0,0004	0,5989	0,3457	5,9112	0,0025	
CV (%)		8,78	6,98	10,75	5,85	3,58	
Média Geral		0,2412	11,09	5,4708	41,56	1,3971	

*=significativo a 5%; **=significativo a 1%

Tabela 2A. Resumo da análise de variância para os atributos químicos do Neossolo Quartzarênico.

FV	GL	Quadrado Médio					
		pH	P	K	S	Ca	Mg
Tratamento	5	0,0404	1121,15**	567,64**	59,3380**	0,0648	0,0394**
Erro	18	0,0871	14,95	1,6450	3,1405	0,0254	0,0056
CV (%)		4,66	8,23	9,22	8,46	9,51	11,92
Média Geral		6,3292	47,01	13,91	20,95	1,6771	0,6296
		Al	T	m	V	CO	
Tratamento	5	0,0000	0,1692*	0,0172**	27,3757**	0,0104**	
Erro	18	0,000004	0,0579	0,0035	6,4322	0,0019	
CV (%)		10,50	6,30	7,14	4,13	19,01	
Média Geral		0,0195	3,8175	0,8317	61,39	0,2292	

*=significativo a 5%; **=significativo a 1%

Tabela 3A. Resumo da análise de variância para os teores foliares do Latossolo Vermelho distrófico.

FV	GL	Quadrado Médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Tratamento	5	0,3639	0,0004	0,0694**	0,0302	0,00006	0,0044**
Erro	18	0,2922	0,0004	0,0069	0,0129	0,00001	0,00006
CV (%)		11,87	14,38	8,51	9,52	15,38	12,40
Média Geral		4,55	0,1379	0,9787	1,1921	0,0254	0,0637
		B	Cu	Fe	Mn	Zn	
Tratamento	5	139,21**	1,9823	261,66**	257,17**	58,38**	
Erro	18	24,63	0,9914	15,82	28,98	12,22	
CV (%)		8,07	12,78	11,13	11,41	11,16	
Média Geral		61,50	7,7917	35,73	47,18	31,34	

*=significativo a 5%; **=significativo a 1%

Tabela 4A. Resumo da análise de variância para os teores foliares do Neossolo Quartzarênico.

FV	GL	Quadrado Médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Tratamento	5	3,7677**	0,0034**	0,4670**	0,1598**	0,0054**	0,0123**
Erro	18	0,2759	0,00012	0,0058	0,0042	0,0002	0,0022
CV (%)		10,47	8,36	13,66	4,04	11,78	13,83
Média Geral		5,0158	0,1329	0,56	1,61	0,1171	0,3404
		B	Cu	Fe	Mn	Zn	
Tratamento	5	566,2911**	3,1323	823,04**	16,61**	236,92**	
Erro	18	117,5190	1,3472	10,5007	1,9507	19,14	
CV (%)		14,21	7,64	11,86	13,24	8,25	
Média Geral		76,3092	15,19	27,33	10,55	52,99	

*=significativo a 5%; **=significativo a 1%

Tabela 5A. Resumo da análise de variância para as análises microbiológicas do Latossolo Vermelho distrófico.

FV	GL	Quadrado Médio			
		FDA	RB	CBM	qCO_2
Tratamento	5	1,1463**	0,4575**	5296,06**	0,2204**
Época	1	20,21**	55,21**	96735,26**	6,2280**
Ep x Trat	5	0,9686**	0,4044**	5967,88**	0,2447**
Erro	36	0,0178	0,0644	334,08	0,0055
CV (%)		7,66	9,46	12,05	13,24
Média Geral		1,7419	2,6833	151,73	0,5627

*=significativo a 5%; **=significativo a 1%

Tabela 6A. Resumo da análise de variância para as análises microbiológicas do Neossolo Quartzarênico.

FV	GL	Quadrado Médio			
		FDA	RB	CBM	qCO_2
Tratamento	5	0,3149**	1,4825**	9986,87**	0,1080**
Época	1	1,6800**	72,57**	226800,76**	0,0261**
Ep x Trat	5	0,2857**	0,8385**	8115,99**	0,0547**
Erro	36	0,0082	0,1520	230,60	0,0026
CV (%)		11,26	12,61	8,15	12,40
Média Geral		0,8037	3,0921	186,27	0,4146

*=significativo a 5%; **=significativo a 1%