


# Produção de adubos organominerais de liberação lenta pelo processo de briquetagem

Eduardo Nunes de Magalhães <sup>1\*</sup> André Carlos Silva <sup>1</sup> Elenice Maria Schons Silva <sup>1</sup> 

## Resumo

O consumo mundial de fertilizantes tem crescido a cada ano, devido a necessidade de alimentar uma população mundial crescente. Sendo assim o uso racional e eficiente de fertilizantes é primordial. O presente trabalho buscou através de um planejamento de misturas em 6 parâmetros organizado num Delineamento Composto Central Rotacional-DCCR com 4 parâmetros mássicos (massa de calcário, massa de goma xantana, massa de torta de mamona e massa de adubo sólido), um volumétrico (volume de adubo líquido) e compactados em diferentes cargas de compressão, tendo cada um dos 6 parâmetros 5 níveis. O experimento foi conduzido em 2 etapas sendo a segunda uma otimização da primeira. Os parâmetros técnicos de escolha dos melhores fertilizantes organominerais foram suportar no mínimo 75 quedas a 1,2 m e 8 horas de dissolução em água a 25 °C para ambas etapas. Os resultados demonstraram que os parâmetros compressão e adubo sólido não interferiram nas características desejadas. Os briquetes que apresentaram as melhores características tinham menor quantidade de calcário, maior quantidade de goma xantana e maior volume de adubo líquido.

**Palavras-chave:** Xantana; Fertilizante; Briquete.

## Production of slow-release organomineral fertilizers by the briquetting process

### Abstract

The world consumption of fertilizers has grown every year, due to the need to feed a growing world population. Therefore, the rational and efficient use of fertilizers is paramount. The present work sought through a planning of mixtures in 6 parameters organized in a Rotational Central Composite Design-DCCR with 4 mass parameters (limestone mass, xanthan gum mass, castor bean cake mass and solid fertilizer mass), a volumetric (volume of liquid fertilizer) and compacted at different compression loads, each of the 6 parameters having 5 levels. The experiment was conducted in 2 stages, the second being an optimization of the first. The technical parameter for choosing the best organomineral fertilizers was to withstand at least 75 drops from 1.2 m and 8 hours of dissolution in water at 25 °C for both stages. The results showed that the compression and solid fertilizer parameters did not interfere with the desired characteristics. The briquettes that presented the best characteristics had less limestone, a greater amount of xanthan gum and a greater volume of liquid fertilizer.

**Keywords:** Xanthan; Fertilizer; Briquette.

### 1 Introdução

As pesquisas vêm permitindo incrementos positivos na produção e na produtividade das commodities agrícolas alinhando uma demanda cada vez maior por alimentos. Essa produção é bastante dependente de fertilizantes, corretivos e condicionadores de solo que infelizmente ainda demonstram grandes perdas por diferentes processos, sejam eles físicos, químicos ou biológicos além é claro da ação humana. Em conjunto calcários, fertilizantes e condicionadores de solo formam um grupo de elementos químicos capazes de

determinar a produção e produtividade de todas as culturas existentes de forma técnico econômica.

Para Malavolta et al. [1] os fertilizantes minerais são produtos de natureza inorgânica, naturais ou sintéticos, fornecedores de nutrientes aos vegetais. Entre todos os elementos há um grande destaque para o nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) já que pela própria definição de macronutrientes são requeridos pela planta em grandes quantidades, mas produzido em pequena escala em solo brasileiro.

<sup>1</sup>Laboratório de Modelamento e Pesquisa em Processamento Mineral, LaMppMin, Universidade Federal de Catalão, UFCAT, Catalão, GO, Brasil.

\*Autor correspondente: eduardonunes@ifm.edu.br



Sendo assim o estudo de técnicas e processos que melhorem a eficiência no uso de fertilizantes são na atualidade foco dos estudos agrônômicos como por exemplo adubos de liberação lenta/controlada.

Existem produtos comerciais que ofertam essa capacidade de controle na liberação, porém na sua grande maioria estão ligados ao uso de polímeros sintéticos que além de terem baixa biodegradabilidade mantem alto custo na sua aplicação podendo aumentar o valor do produto de 2 a 8 vezes [2]. Portanto faz-se necessário controlar a liberação dos nutrientes presentes nos fertilizantes, afim de evitar reações bioquímicas [3] de forma excessiva permitindo a possibilidade de perdas, mas também aliar isso a fontes biodegradáveis e que possuam menor custo. Outro aspecto importante e muitas vezes deixado de lado é a necessidade de incorporação de materiais orgânicos, a estes materiais encapsuladores, para permitir a liberação lenta, mas manter as relações bioquímicas entre os diferentes agentes sejam bióticos ou abióticos do solo [4]. Da junção de todos estes elementos há a produção de um fertilizante organomineral, ou seja, aquele formado pela união de fertilizantes convencionais a matrizes orgânicas que se complementam na capacidade de fornecimento de nutrientes as plantas alinhadas com a exigência nutricional das mesmas [5]. Desta forma a motivação de estudos como este é pela busca de maior eficiência no uso dos fertilizantes, aproveitamento de resíduos com potencial no uso agrícola, fornecimento de matéria orgânica ao solo de forma gradativa e geração de menor dependência externa de adubos pelo uso consciente dos mesmos. Um destes resíduos são aqueles produzidos pela mineração, responsável inclusive pela extração e tratamentos dos fertilizantes retirados das minas. Esses resíduos em sua grande maioria possuem granulometrias extremamente finas não podendo ser utilizados diretamente na agricultura ou em processos siderúrgicos gerando passivos ambientais e perdas econômicas. Sendo assim sua aglomeração e potencial uso agrícola se torna imprescindíveis pois geram novas perspectivas e melhor aproveitamento destes recursos finitos [6,7].

Outro fator que está diretamente ligada a estes estudos são a relação entre liberação lenta/controlada e a necessidade nutricional pela planta o que pode acarretar em um desbalanço, proporcionando um estresse nutricional a mesma não se tornando interessante [8]. Uma técnica pouco abordada neste contexto é a aglomeração de finos através de planejamentos de misturas. Uma das características dela é que independente do modelo utilizado é essencial o uso de aglutinantes que em geral estão na forma de pó ou em solução, durante a granulação por via úmida, ou para facilitar a produção de briquetes coesos, por compressão direta. Agora quando falamos de aglutinantes não podemos levar em consideração apenas suas propriedades ligantes, mas deve ser de fácil aquisição, possuir custo acessível e de produção em larga escala [9].

Dentre estas possibilidades a goma xantana tem alcançado destaque, por tratar-se de um heteroexopolissacarídeo, provindo da biossíntese no processo de fermentação de açúcares pelas bactérias *Xanthomonas*, e tendo como principais características

alta viscosidade e características pseudoplásticas, sendo por isso, uma das mais aplicadas nas indústrias farmacêuticas, alimentícias e petroquímicas [10]. Ela possui características físico-químicas superiores a de outros polissacarídeos disponíveis uma vez que é formada por unidades repetidas de pentassacarídeos unidos por duas unidades de glicose, uma unidade de ácido glucurônico e duas unidades de manose, além de grupos piruvato e acetil. O ácido glucurônico forma uma cadeia lateral entre as duas unidades D-manopiranosil. Tudo isso confere a goma xantana alta compatibilidade com produtos de outra natureza: ácidos, bases, sais, solventes, enzimas, surfactantes e conservantes [11,12].

O presente trabalho buscou utilizar um resíduo mineral (calcário filler), outro agrícola (torta de mamona) juntamente com a goma xantana e fertilizantes líquido e sólido para produzir um fertilizante organomineral briquetado capaz de permitir a liberação lenta de nutrientes, ou seja, capaz de fazer uma entrega do nutriente de forma mais controlada para a solução do solo buscando diminuir as perdas por lixiviação, volatilização e complexação.

## 2 Metodologia

O presente trabalho foi conduzido em duas etapas, sendo a primeira composta por 46 experimentos (Figura 1), onde foram investigados a influência da massa de calcário, massa de goma xantana, massa de torta de mamona, massa de adubo sólido e volume de adubo líquido sob diferentes níveis de compressão no número de quedas a 1,2 m e na dissolução em água a 25 °C. A segunda etapa composta por 9 experimentos (Figura 1) foi uma otimização da primeira, utilizando-se apenas os parâmetros significativos para obtenção de seis fertilizantes organominerais distintos em composição. Ambas etapas foram constituídas por 6 repetições para cada experimento com coeficiente de variação limitado a 10%.

O planejamento de misturas da etapa 1 (Tabela 1) foi organizado num Delineamento Composto Central Rotacional-DCCR [13] com 6 parâmetros sendo 4 mássicos (massa de calcário, massa de goma xantana, massa de torta de mamona e massa de adubo sólido), um volumétrico (volume de adubo líquido) e compactados em diferentes cargas de compressão tendo cada um dos 6 parâmetros 5 níveis (Tabela 1). Todo o planejamento e análise estatística foi realizada utilizando-se o software Statistics 10.0.

Para determinação dos níveis da massa de goma xantana e volume de adubo líquido foi utilizado como referência o trabalho de Nunes et al. [14]. Para a coleta do solo foi determinado um quadrante de 10 m x 10 m de onde foram coletadas 3 amostras compostas nas diagonais a uma profundidade de 0,2 m levando em consideração os procedimentos padrão para a cultura do milho silagem.

Para cada amostra composta foi retirada uma amostra simples e enviada para análise físico-química do solo totalizando uma triplicata para o quadrante, realizando-se posteriormente o cálculo médio para os parâmetros estudados.

As análises físico-químicas do solo foram realizadas segundo Embrapa [15] para cálcio, magnésio, potássio, fósforo, nitrogênio, zinco e boro além da análise granulométrica do mesmo. As doses de calcário e de fertilizantes recomendada foi calculada com base na análise físico química do solo e a recomendação da Embrapa [16] considerando um plantel de 60.000 plantas de milho.

Uma vez determinada a recomendação agrônômica de calcário e fertilizante os níveis experimentais foram fixadas em 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da dose calculada. Quanto a fonte de matéria orgânica segundo Embrapa [17] o mínimo de palhada na área deve ser de 2,4 toneladas por hectare para um sistema de plantio direto. Sendo assim considerando 60.000 plantas por hectare, o maior nível na variável matéria orgânica foi de 40 g por planta sendo os outros níveis 0,10,20,30 e 40 gramas. Quanto aos níveis de compressão foi utilizado como o maior nível 1/3 do aplicado por Barros [18] devido a necessidade de dissolução do briquete, ou seja, foi aplicado uma tonelada numa área de 5 cm<sup>2</sup> (molde utilizado) totalizando 200 kg/cm<sup>2</sup> ou seja aproximadamente 20.000 kPa sendo todos os níveis 0, 5.000, 10.000, 15.000 e 20.000 kPa. Os briquetes foram produzidos

de acordo com o planejamento de mistura (Tabela 1) para cada um dos 46 experimentos sendo misturados por 10 minutos (completa homogeneização) garantindo umidade de 8%, sendo a mesma controlada pelas metodologias preconizadas para a torta de mamona, calcário e adubo sólido [19], goma xantana [20] e adubo líquido conforme estabelecido na embalagem do produto.

A conformação do briquete foi realizado conforme descrito por Barros [18]. Posteriormente após a conformação na briquetadeira, do tipo prensa hidráulica, seguiram para cura por 48 horas em sombra e a temperatura ambiente. Após a cura foram realizados os testes de dissolução em água a 25 °C conforme Carvalho e Brinck [21] e teste de queda como preconizado por Luz et al. [22]. Para ser determinado como fertilizante de liberação lenta o briquete deveria suportar no mínimo 75 quedas e 480 minutos de dissolução em água a 25 °C conforme Nunes et al. [14].

Na etapa 2 considerando as análises estatísticas realizadas na etapa 1 foram escolhidos as melhores variáveis e o melhor planejamento de misturas com base nos mapas de superfícies das variáveis 2 a 2 produzidas nos efeitos principais e interações significativas.

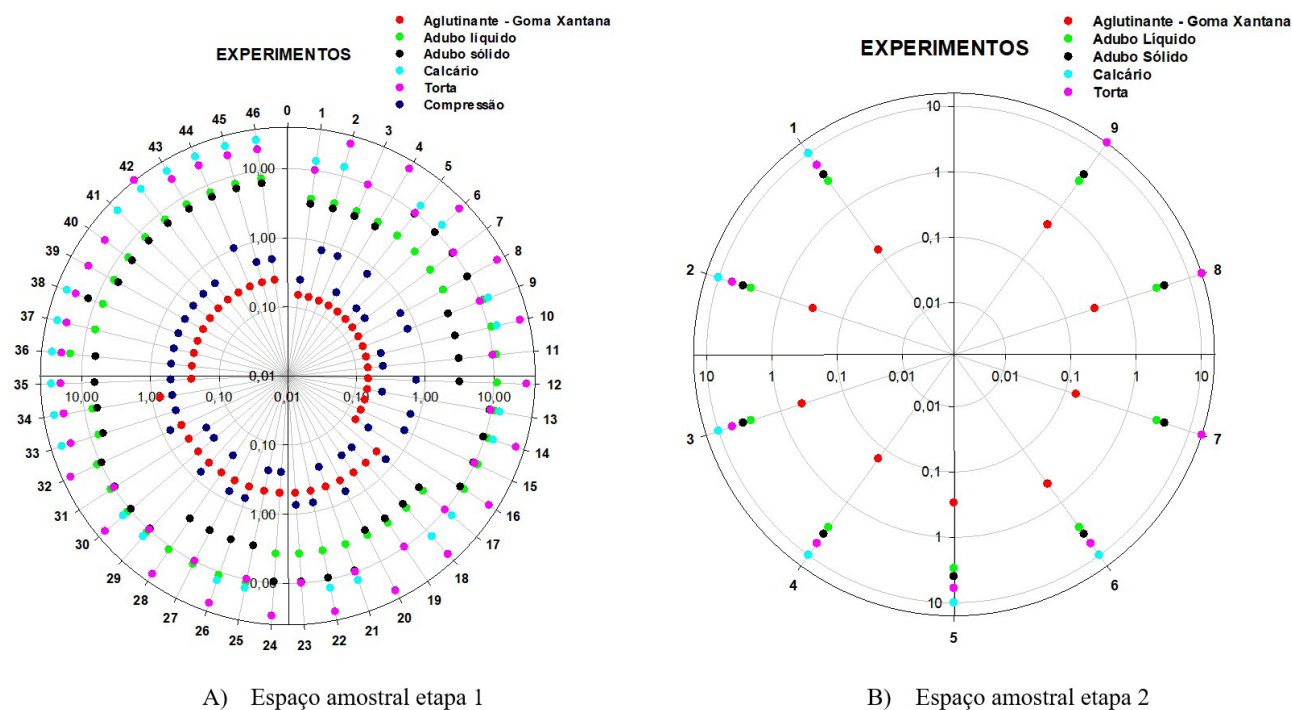


Figura 1. Espaço amostral das etapas 1 e 2.

Tabela 1. Variáveis independentes e níveis do DCCR

Variável	Níveis e matriz de planejamento					
Goma Xantana (g)	0 (-2)	0,15 (-1)	0,25 (0)	0,5 (1)	0,75 (+2)	Fabricante Leve Croc
Adubo líquido (ml)	0 (-2)	3,8 (-1)	7,5 (0)	11,25 (1)	15 (+2)	Produzido por Satis I.C.L
Adubo sólido (g)	0 (-2)	3,2 (-1)	6,4 (0)	9,6 (1)	12,75 (+2)	Produzido por Heringer Fertilizantes
Calcário (g)	0 (-2)	13,5 (-1)	27,5 (0)	42,5 (1)	55 (+2)	Produzido por Cala Calcário Lagamar
Torta (g)	0 (-2)	10 (-1)	20 (0)	30 (1)	40 (+2)	Produzido por Nutriplast I.C.L
Compressão (ton)	0 (-2)	0,25 (-1)	0,5 (0)	0,75 (1)	1 (+2)	

Sendo assim, foram produzidos 6 fertilizantes organominerais distintos em composição, para uso agrícola que seriam T1-T3, T4-T6 e T7-T9 (Tabela 2) todas com 50% das doses de calcário e fertilizantes (3 toneladas de calcário por hectare e 350 kg de adubo sólido e 350 kg de cobertura). Levando em consideração todos estes aspectos o experimento foi confeccionado conforme planejamento de mistura apresentado (Tabela 2) variando apenas a goma xantana na produção de 6 briquetes para cada fertilizante organomineral.

O procedimento de produção do briquete e testes seguiram o mesmo padrão da etapa 1. Aqui seguiu-se o mesmo critério para escolha do fertilizante de liberação lenta devendo suportar no mínimo 75 quedas e 480 minutos de dissolução em água a 25 °C conforme Nunes et al. [14].

### 3 Resultados e discussões

Verificou-se diferença estatística entre os experimentos para a variável dissolução em água a 25 °C, ocorrendo o enquadramento dos 46 experimentos em 27 grupos diferentes entre si. Observa-se que o tempo de dissolução do briquete esteja ligado a liberação lenta dos fertilizantes, chamando atenção que o experimento 39 além de se destacar estatisticamente de todos demonstra enorme diferença matemática atingindo 41 horas de dissolução total.

Porém observa-se que os resultados demonstraram que a dissolução total do briquete pode não ter relação

direta com a liberação do fertilizante pelo menos no que diz respeito ao fertilizante líquido como pode ser visto na Figura 2. Apesar da dissolução completa do briquete no tratamento 39 ter ocorrido 41 horas verificou-se que por volta de 20 minutos após início do teste observou-se visualmente pela coloração, que o fertilizante líquido começou a ser liberado se intensificando 6 horas depois. Isso demonstra que apesar do aumento na variável dissolução em água a 25 °C o fato de ter sido usada uma fonte muito solúvel de adubo líquido para o estudo em questão pode trazer algum prejuízo, no entanto deve-se lembrar que essa fonte específica corresponde a menos de 15% da quantidade total de fertilizantes presentes no briquete sendo percebido efeito similar no trabalho de Isabel [23] que estudando a aplicação de adubos líquidos em milho verificou níveis menores de valor de nitrogênio se comparado com outros fertilizantes utilizados.

No entanto, percebe-se que apesar dessa liberação rápida do adubo líquido ocorreu uma grande sinergia entre o mesmo e a goma xantana considerando a capacidade de dissolução do briquete tornando-se extremamente interessante sobre 2 aspectos sendo o primeiro que como o briquete controlaria a liberação do nutriente poderia o adubo líquido fornecer de forma mais rápida o nutriente a planta não permitindo faltas nutricionais [24] no início de ciclo da cultura, além de que devido ao grande efeito sinérgico entre aglutinante e adubo líquido do ponto de vista da agregação de partículas na conformação do briquete é interessante e algo a ser buscado [18] haja visto os objetivos do trabalho.

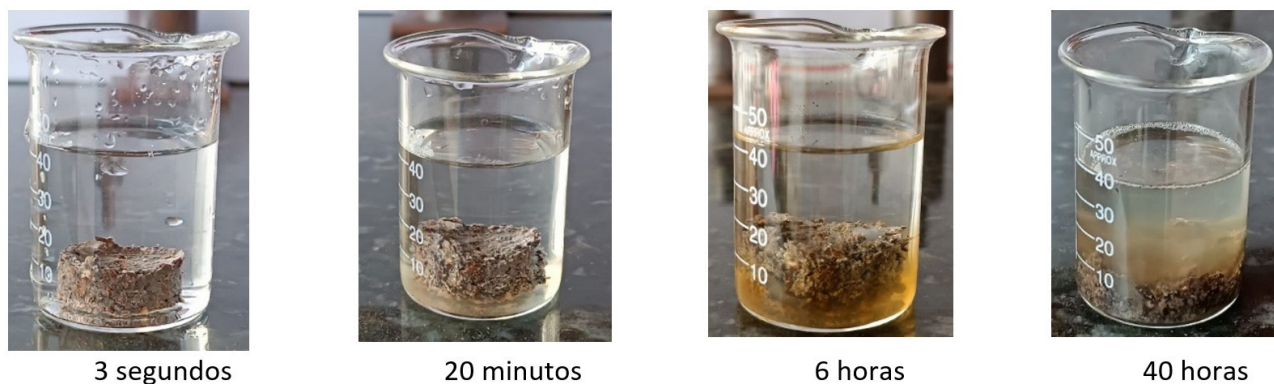


Figura 2. Dissolução em água a 25°C (experimento 39).

Tabela 2. Matriz experimental padronização dos corretivos e fertilizantes

Trat.	Xantana (g)	Calc (g)	Adubo L. (mL)	Adubo S. (g)	Torta (g)	Gesso (g)
T1	0,15	10	3	4	6	
T2	0,30	10	3	4	6	
T3	0,45	10	3	4	6	
T4	0,15	10	3	4	6	2
T5	0,30	10	3	4	6	2
T6	0,45	10	3	4	6	2
T7	0,15	0	3	4	16	
T8	0,30	0	3	4	16	
T9	0,45	0	3	4	16	



Na dissolução do briquete em água a 25 °C verificou-se que apenas a torta e o calcário tiveram efeito linear significativo (Figura 3) o que corrobora com Barros [18] e Marinho [25] que demonstraram baixo tempo de dissolução para finos de calcário. Quanto a torta por se tratar de uma fonte de matéria orgânica pode ter promovido um inchaço entre as partículas já que se trata de resíduo orgânico, o que explicaria um menor tempo de dissolução em relação a maior quantidade de torta o que corrobora com Afsal [26] que verificou um inchaço nos briquetes de carvão vegetal [27].

Igualmente para a variável queda a 1,2 m verificou diferença estatística entre os experimentos com destaque para o experimento 39 que apresentou média de 91,33 quedas de 1,2 m demonstrando grande resistência mecânica se comparado com os trabalhos desenvolvidos por Barros [18] e Marinho [25].

Os melhores tratamentos para a variável queda apresentaram forte relação com a menor quantidade de calcário possível o que demonstra um antagonismo entre resistência e a quantidade de finos.

Verificou-se que as variáveis do modelo, calcário linear e quadrático, aglutinante linear, adubo líquido (linear), interação adubo líquido e calcário linear foram significativas ao nível de 5% de significância (Figura 4). O incremento de resistência mecânica associado ao adubo líquido e a goma xantana talvez seja o maior diferencial deste trabalho em relação aos realizados por Barros [18] e Marinho [25] que usaram água e melaço de cana como aglutinante, alcançando baixos valores de número de quedas e dissolução em água. O uso da goma xantana pode criar uma nova perspectiva na aglomeração de finos devido a

sua capacidade aglomerante superar o antagonismo do calcário no que diz respeito a aglomeração de finos.

De forma geral os dados demonstraram que os parâmetros com melhores resultados tanto para a queda a 1,2 m quanto a dissolução em água foram as massas de goma xantana, calcário e torta. Sendo assim a etapa 2 por constituir uma otimização da etapa 1 foram produzidos os fertilizantes organominerais modificando apenas as 3 variáveis. Os fertilizantes organominerais produzidos apresentaram médias para os experimentos tanto para queda a 1,2 m e dissolução em água a 25 °C conforme Tabela 3. Infere-se mesma concordância com a etapa 1 onde demonstrou-se efeito positivo para massa de torta e de aglutinante e efeito negativo para a presença de calcário para ambas variáveis resposta.

Quanto ao critério mínimo estabelecido para as variáveis resposta observa-se que apenas os experimentos T2, T3, T6, T7, T8 e T9 atingiram tais parâmetros em conjunto formando-se 6 possíveis fertilizantes organominerais. Verificou-se que para a variável queda a 1,2 m (Figura 5) o T9 apresentou diferença estatística de todos os demais e enorme diferença numérica. Quanto aos tratamentos T1, T4 e T5 apresentaram menores valores e pouca diferença entre si sendo observado que provavelmente o T1 e T4 essa baixa resistência mecânica esteja ligada a baixa quantidade de aglutinante retificando os resultados obtidos anteriormente devido à forte interação com esta variável independente. Quanto ao T5 provavelmente apesar de ter maior quantidade de aglutinante pode estar ligado a incapacidade ligante do gesso produzindo um material menos resistente [28].

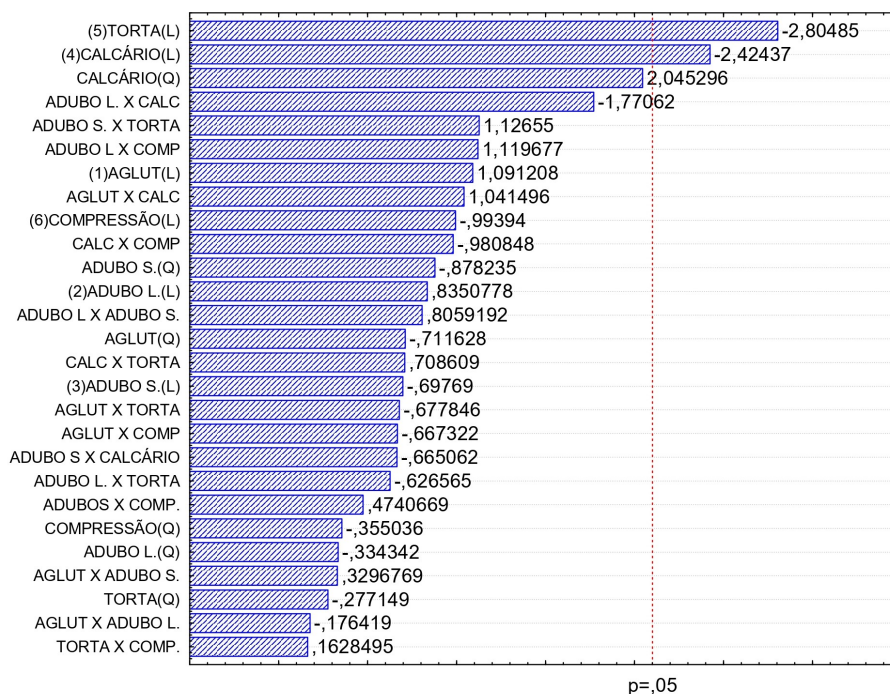


Figura 3. Gráfico de Pareto variável dissolução (água a 25 °C).

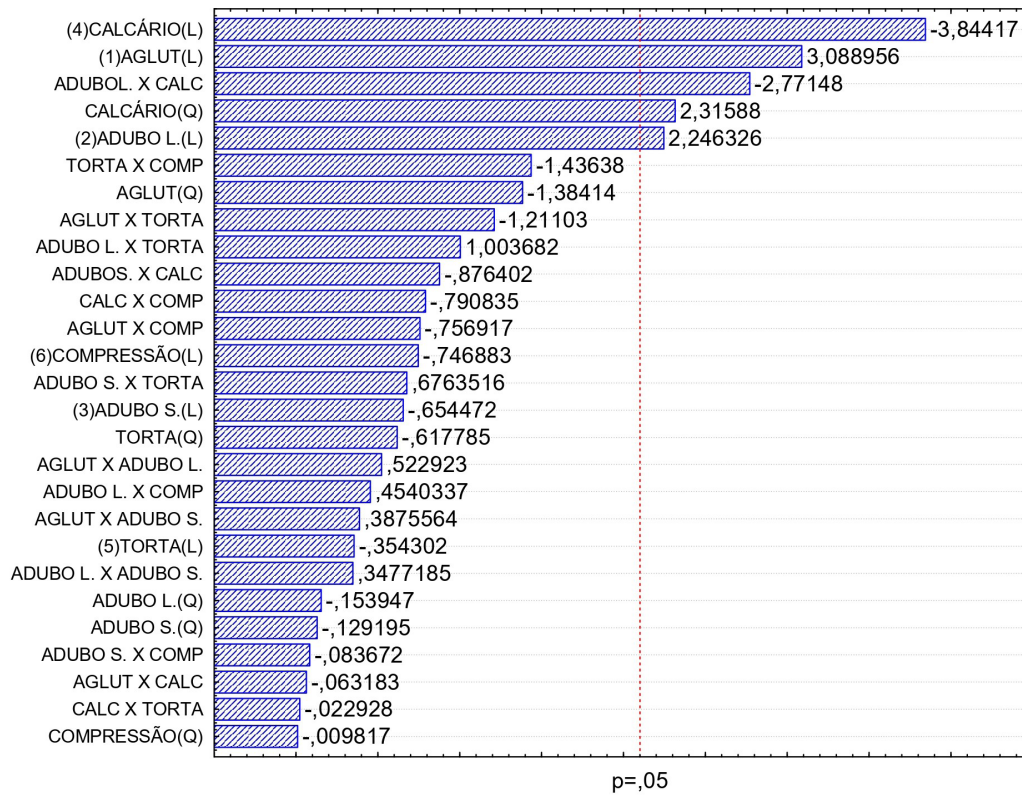


Figura 4. Gráfico de Pareto variável queda a 1,2 m.

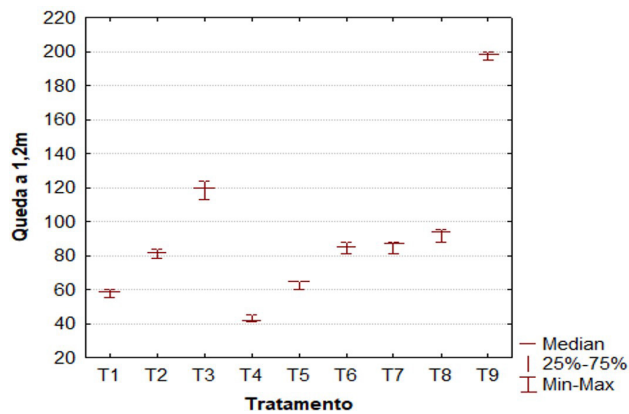


Figura 5. Boxplot pra queda a 1,2 m.

Tabela 3. Média da dissolução em água a 25 °C e queda a 1,2 m dos fertilizantes briquetados

Trat.	Dissol (horas)	Queda1,2m
T1	120,83	58,00
T2	139,11	81,33
T3	150,28	119,00
T4	53,33	42,67
T5	58,55	63,33
T6	78,61	84,67
T7	8,75	85,33
T8	13,55	92,33
T9	17,92	197,67

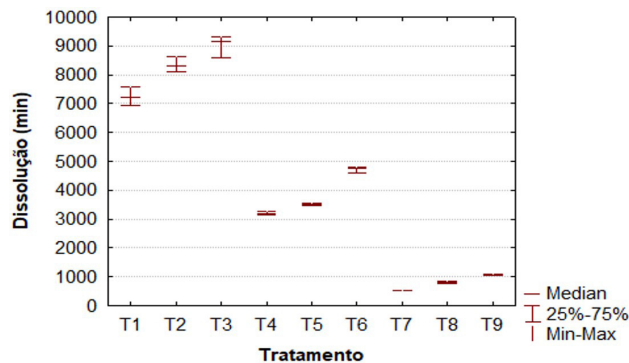


Figura 6. Boxplot para dissolução em água a 25 °C.

Já o tratamento T3 apesar de superior ao demais, possui grande diferença matemática para o T9 atingindo um patamar matematicamente próximo de 80 quedas ou seja 40% a menos de resistência em termos de energia. No que tange a dissolução em água a 25 °C (Figura 6) os tratamentos T1, T2 e T3 apresentaram diferença estatística das demais levando maior tempo para completo desfazimento enquanto os tratamentos T7, T8 e T9 os menores.

Com base nos critérios estabelecidos os briquetes considerados como fertilizantes organominerais no que tange a liberação lenta de nutrientes foram os tratamentos T2, T3 e T6.

## 4 Conclusões

O planejamento de misturas conduzido em duas etapas utilizando-se de 6 parâmetros produziram 6 fertilizantes organominerais com grande potencial agrícola sendo posteriormente, escolhido 3 deles pois além de cumprirem o mínimo de 75 quedas e 480 minutos de dissolução em água a 25 °C foram aqueles que o fizeram de forma mais expressiva. Infere-se com os resultados apresentados que a goma xantana conseguiu produzir briquetes com as características desejadas, levando a produção de um novo fertilizante de uso comercial para a agricultura. Essa análise leva em conta o fato de que o planejamento de mistura utilizado atingiu resistência mecânica suficiente, para um possível transporte como ocorre com fertilizantes tradicionais e que os altos tempos de dissolução em água interfira na liberação lenta dos nutrientes. Os resultados dos

novos fertilizantes organominerais sugerem que um novo adubo de liberação lenta tenha sido encontrado e que seja capaz de atender os objetivos do trabalho. Fica a sugestão de trabalhos futuros na aplicação destes novos fertilizantes a diferentes culturas, afim de aplicá-los comercialmente aumentando a eficiência e reduzindo a dependência brasileira de fertilizantes convencionais.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer às empresas que forneceram os insumos, imprescindíveis para a realização do presente trabalho, bem como à Universidade Federal de Catalão e ao Laboratório de Modelamento e Pesquisa em Processamento Mineral (LaMPPMin) bem como ao IFTM Campus Patos de Minas MG.

## Referências

- 1 Malavolta E, Favarin JL, Malavolta M, Cabral CP, Heinrichs RSJSM. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2002;37:1017-1022.
- 2 Valderrama M, Buzetti S, Carvalho MMTF, Gredson CSB, Andreotti M. Nitrogen fertilization in corn with urea coated with different sources of polymers. *Semina: Ciências Agrárias*. 2014;35(2):659-670.
- 3 Trenkel M. Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture. 2. ed. Paris: International Fertilizer Industry Association; 2010. 163 p.
- 4 Oliveira DP. Fontes de matéria orgânica para a formulação de fertilizantes organominerais peletizados no desenvolvimento da cultura do sorgo [dissertação]. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia; 2016. 46 p.
- 5 Chien SH, Prochnow LI, Cantarella H. Recent developments of fertilizer production and use to increase nutrient efficiency and minimize environmental impacts. In Sparks DL, editor. *Advances in agronomy*. Vol. 102. San Diego: Academic Press; 2009. p. 267-322.
- 6 Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM. *Gestão e manejo de rejeitos da mineração*. Belo Horizonte: IBRAM; 2016.
- 7 Pinheiro AG, Nogueira PL. Geração de lucros com tratamento de resíduos: um estudo de caso. In: Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo. *Anais do 10º Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente*; 03/12 a 05/12 de 2018; São Paulo -SP, Brasil: ENGEMA; 2014. p. 1-11.
- 8 Marschner H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2. ed. Orlando: Academic Press; 2005. 889 p.
- 9 Karsa DR, Stephenson RA. *Excipients and delivery systems for pharmaceutical formulations*. Cambridge: The Royal of Chemistry; 2000. p.1-34
- 10 Araújo TA, Faria S, França FP, Cardoso VL. Avaliação do comportamento reológico dos diferentes meios de produção de goma xantana a partir do caldo de cana. In: Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas. *Anais do VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica*; 2005 Jul 24-27. Campinas, Brasil. Campinas: FEQ/Unicamp; 2005. p. 99-114.
- 11 Demirkesen I, Mert B, Sumnu G, Sahin S. Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*. 2010;96:295-303.
- 12 Kiosseoglou A, Papalamprou E, Makri E, Doxastakis G, Kiosseoglou V. Functionality of medium molecular weight xanthan gum produced by *Xanthomonas Campestris* ATCC 1395 in batch culture. *Food Research International*. 2003;36:425-430.
- 13 Rodrigues MI, Iemma AF. *Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia sequencial de planejamentos*. Campinas: Casa do Pão; 2009.
- 14 Nunes EM, Carlos AS, Maria ESS. Diferentes fontes de aglutinantes na produção de briquetes. In press *Revista TMM - Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, 2023.

- 15 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA; 2017. 574 p.
- 16 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Cultivo do milho. Rio de Janeiro: EMBRAPA; 2022.
- 17 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Milho em números (safra 2013/2014). Londrina: EMBRAPA; 2015.
- 18 Barros MR. Caracterização e avaliação da utilização de aglomerantes orgânicos e inorgânicos na aglomeração de finos de calcário [tese]. Catalão: Universidade Federal de Catalão; 2016.
- 19 Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos. Brasília: MAPA; 2017.
- 20 Instituto Adolfo Lutz – IAL. Normas analíticas: métodos químicos e físicos de composição de alimentos. 5. ed. São Paulo: IAL; 2008.
- 21 Carvalho EA, Brinck V. Aglomeração – parte I: briquetagem. In: Luz AB, Sampaio JA, França SCA, editores. Tratamento de minérios. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT; 2010.
- 22 Luz AB, Sampaio JA, França SCA. Tratamento de minérios. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT; 2010.
- 23 Isabel DBA. Monitorização da aplicação de adubos líquidos num olival no Baixo Alentejo e o impacto na evolução de nutrientes na seiva [tese]. Beja: Escola Superior Agrária de Beja/Instituto Politécnico de Beja; 2020.
- 24 Alves RC. Associação de fertilizantes de liberação controlada e remineralizador para produção de mudas de *Solanum diploconos* e *mimosa flocculosa* [tese]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2020.
- 25 Marinho DY. Produção de adubos de liberação lenta utilizando a briquetagem de finos de calcário e melado de cana: estudos iniciais [tese]. Catalão: Universidade Federal de Catalão; 2019.
- 26 Afsal A, David R, Baiju V, Suhail NM, Parvathy U, Rakhi RB. Experimental investigations on combustion characteristics of fuel briquettes made from vegetable market waste and saw dust. *Materials Today: Proceedings*. 2020;33:3826-3831. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.222>.
- 27 Maria LVC. Efeito das principais variáveis do processo de fabricação sobre as propriedades de briquetes de misturas de carvão fóssil e carvão vegetal para uso siderúrgico [tese]. São Paulo. Escola Politécnica/Universidade de São Paulo; 2017.
- 28 Adrien J, Meille S, Tadier S, Maire E, Sasaki L. *In-situ* X-ray tomographic monitoring of gypsum plaster setting. *Cement and Concrete Research*. 2016;82:107-116.

Recebido em: 30 Ago. 2023

Aceito em: 13 Out. 2023