



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)/
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO (UFCAT) em implantação
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

EDUARDO NUNES DE MAGALHÃES

**DESENVOLVIMENTO DE BRIQUETES APLICADOS AO MANEJO DA
FERTILIDADE DE SOLOS E DA NUTRIÇÃO DE PLANTAS**

Catalão - GO

2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO

INSTITUTO DE FÍSICA

Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, número 1120, - Bairro Setor Universitário, Catalão/GO, CEP 75704-020 Telefone:
- - <https://www.ufcat.edu.br>

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA)

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DE TESES E DISSERTAÇÕES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO (UFCAT)

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Catalão (UFCAT) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFCAT), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFCAT é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Tese

2. Nome completo do autor

Eduardo Nunes de Magalhães

3. Título do trabalho

DESENVOLVIMENTO DE BRIQUETES APLICADOS AO MANEJO DA FERTILIDADE DE SOLOS E DA NUTRIÇÃO DE PLANTAS

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento: [X] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa.

Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor



Documento assinado eletronicamente por **ANDRE CARLOS SILVA**, **Professor(a) do Magistério Superior**, em 07/02/2024, às 21:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Nunes de Magalhães**, **Usuário Externo**, em 08/02/2024, às 15:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0035254** e o código CRC **2685F5A8**.

EDUARDO NUNES DE MAGALHÃES

**DESENVOLVIMENTO DE BRIQUETE APLICADOS AO MANEJO DA
FERTILIDADE DE SOLOS E DA NUTRIÇÃO DE PLANTAS**

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Exatas e Tecnológicas – PPGCET, da unidade Instituto de Física da Universidade Federal de Catalão-UFCAT, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Ciências Exatas e Tecnológicas.

Área de concentração: Métodos Teórico Computacionais em Ciência de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. André Carlos Silva

Coorientadora: Prof. Dra. Elenice Maria Schons Silva

Catalão - GO

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFCAT.

Magalhães, Eduardo Nunes de
DESENVOLVIMENTO DE BRIQUETE APLICADOS AO
MANEJO DA FERTILIDADE DE SOLOS E DA NUTRIÇÃO DE
PLANTAS / Eduardo Nunes de Magalhães. - 2024.
155, CLV f.

Orientador: Prof. André Carlos Silva; co-orientador Prof.
Elenice Maria Schons Silva.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Catalão, Instituto
de Física, Catalão, Programa de Pós-Graduação em Ciências
Exatas e Tecnológicas, Catalão, 2024.

Inclui siglas, fotografias, abreviaturas, símbolos, tabelas, lista
de figuras, lista de tabelas.

1. Fertilizante. 2. Organomineral. 3. Briquete. 4. Liberação.
5. Lenta. I. Silva, André Carlos, orient. II. Título.

CDU 622



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO
Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, número 1120, - Bairro Setor Universitário, Catalão/GO, CEP 75704-020 Telefone: - -
<https://www.ufcat.edu.br>

ATA DE DEFESA DE TESE

Ata nº 7 da sessão de Defesa de Tese de Doutorado aluno Eduardo Nunes de Magalhães, que confere o título de Doutor em CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS , na área de concentração Metodologia da Ciência e Engenharia de Materiais.

Ao **onze dias do mês de dezembro de dois mil e vinte três**, a partir das **08:00** Hrs, em sala na forma remota pelo Google Meet (endereço <https://meet.google.com/dov-qsy-rndi>), realizou-se a sessão pública de Defesa de Tese intitulada “USO DE BRIQUETES FERTILIZADOS NA PRODUÇÃO DE SILAGEM DE MILHO EM PATOS DE MINAS-MG”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador Professor Doutor **ANDRÉ CARLOS SILVA (UFCAAT)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora:

Professor Doutor **EDER DE SOUZA MARTINS (EMBRAPA)**, membro titular externo, Professor Doutor **NILSON JOSE FERNANDES (UFCAAT)**, membro titular externo, Professor Doutor **JOSÉ LEONARDO VANDERLEI DE CARVALHO (UFOB)**, membro titular externo, Doutor **MARCELO FONSECA XAVIER (CMAA)**, membro titular externo e Professora Doutora **ELENICE MARIA SCHONS SILVA (UFCAAT)**, coorientadora. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Tese, tendo sido o candidato **APROVADO** pelos seus membros. Foi sugerida a mudança do título do trabalho para “DESENVOLVIMENTO DE BRIQUETES APLICADOS AO MANEJO DA FERTILIDADE DE SOLOS E DA NUTRIÇÃO DE PLANTAS” Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **ANDRÉ CARLOS SILVA** , Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, no **aos onze dias do mês de dezembro de dois mil e vinte três**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **ANDRE CARLOS SILVA, Coordenador(a) de Curso**, em 19/12/2023, às 12:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **ELENICE MARIA SCHONS SILVA, Professor(a) do Magistério Superior**, em 20/12/2023, às 08:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **NILSON JOSE FERNANDES, Professor(a) do Magistério Superior**, em 21/12/2023, às 22:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **José Leonardo Vanderlei de Carvalho, Usuário Externo**, em 06/02/2024, às 11:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eder de Souza Martins, Usuário Externo**, em 19/02/2024, às 08:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **PETRUS HENRIQUE RIBEIRO DOS ANJOS**,
Coordenador(a), em 21/02/2024, às 11:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no
art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site
[https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador_externo.php ?
acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo= 0](https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0021867** e o
código CRC **A30441B1**.

Os Programas de Pós-Graduação *stricto sensu* em funcionamento na Universidade Federal de Catalão (UFCAT), em virtude de procedimentos técnicos relacionados à CAPES, continuam provisoriamente vinculados à Universidade Federal de Goiás (UFG), por isso, todos os elementos pré-textuais do trabalho apresentado estão identificados como Universidade Federal de Goiás/Universidade Federal de Catalão em implantação, em função da migração da BDTD ter ocorrido a partir de 16 de agosto de 2021, assim como pelo fato das pesquisas e produtos serem realizados na UFCAT.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. André Carlos Silva e a minha coorientadora Elenice Maria Schons Silva, por todo apoio, dedicação e comprometimento durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao LaMPPMin (Laboratório de Modelamento e Pesquisa e Processamento Mineral) da UFCAT, pela colaboração no desenvolvimento.

À minha família pelo imenso carinho e incentivo.

A todos os professores do PPGCET que, direta ou indiretamente, contribuíram com minha formação e realização desta pesquisa.

À todas os amigos e colegas que participaram dessa jornada, com apoio, companheirismo, trocas de ideias e motivação para alcançar este sonho.

Ao meu amigo Murilo Pires Ferreira representante da empresa Valley Indústria e Engenharia de Irrigação pelo fornecimento dos dados meteorológicos essenciais para a pesquisa em vasos e campo.

Ao meu amigo Airton Nogueira Silva pelo fornecimento das sementes BM880PRO3 da empresa Helix Sementes e Biotecnologia Ltda essenciais no desenvolvimento da pesquisa.

Ao IFTM Campus Patos de Minas pela liberação em parte do curso de doutoramento.

E por fim, agradeço a Deus, por todas as oportunidades, pela saúde e força na conquista diária dos objetivos.

RESUMO

O Alto Paranaíba é uma região de grande destaque nacional na produção de gado de corte e leiteiro sendo historicamente extensiva, mas hoje está em franco crescimento na intensificação da atividade. Uma das formas de intensificação da atividade é o confinamento que tem como característica a necessidade de uma grande produção de volumosos de boa qualidade, palatável e geneticamente desenvolvida, ganhando destaque a silagem de milho. O presente trabalho buscou desenvolver um novo fertilizante pelo método de briquetagem de finos, com a capacidade de liberação lenta de nutrientes capaz de gerar maior eficiência no uso de fertilizantes aliados a ganhos de produção. O trabalho foi realizado em 4 etapas, sendo a primeira focada na escolha do melhor aglutinante com base em 3 critérios: número de quedas a 1,2 m superior a 75, solubilidade em água a 25 °C maior que oito horas e menor custo por grama do aglutinante, sendo a goma xantana aquela que apresentou em conjunto tais características. A segunda etapa composta pela briquetagem com goma xantana foi montada em duas fases, sendo a primeira constituída de um planejamento de mistura dentro de um planejamento composto rotacional com 6 variáveis (massa de calcário, massa de goma xantana, massa de torta de mamona, massa de adubo sólido, volume de adubo líquido e níveis de compressão) em 5 níveis cada num total de 46 experimentos. Já a segunda fase foi a otimização da primeira num total de 9 experimentos sendo encontrado ao final 3 fertilizantes organominerais de interesse agrícola. A terceira etapa foi o plantio do milho para silagem em vasos de polietileno dispostos em bancadas sem a cobertura, ou seja, dispostos as condições climáticas. A quarta etapa foi o plantio em condições de campo utilizando o fertilizante organomineral briquetado. Ficou demonstrado que os briquetes com alta dosagem de calcário apresentaram baixa resistência mecânica e limitações quanto ao volume aplicado por planta. Verificou-se também que o briquete composto por torta de mamona na dosagem de 50% de fertilizantes calculados para a cultura, produziu 74,2 ton.ha⁻¹ de massa úmida contra 53,2 ton.ha⁻¹ do tratamento convencional com 100% da dosagem de adubos. Considerando os ganhos com a diminuição na dosagem de fertilizantes e de produtividade o briquete produziu, um lucro de R\$ 1.056,00 ha⁻¹ com inúmeras vantagens esperadas, como o aumento de matéria orgânica do solo ao longo do tempo, melhoria da biota do solo, incremento da fertilidade e de cargas do solo.

Palavras-chave: Fertilizante, organomineral, briquete, liberação, lenta.

ABSTRACT

Alto Paranaíba is a region of great national prominence in the production of beef and dairy cattle, being historically extensive, but today experiencing rapid growth in the intensification of the activity. However, confinement requires a large production of good quality, palatable and genetically developed roughage, especially corn silage. The present work sought to develop a new fertilizer using the fines briquetting method, with the ability to slowly release nutrients capable of generating greater efficiency in the use of fertilizers combined with production gains. The work was carried out in 4 stages, the 1st focused on choosing the best binder based on 3 criteria: number of drops from 1.2 m greater than 75, solubility in water at 25 °C greater than 8 hours and lower cost per gram, being the xanthan gum is one that presents these characteristics together. The 2nd stage was assembled in 2 phases, the first consisting of a mixture planning within a rotational DCCR with 6 variables (limestone mass, xanthan gum mass, castor pie mass, solid fertilizer mass, liquid fertilizer volume and compression levels) at 5 levels each in a total of 46 experiments. The 2nd phase was the optimization of the first in a total of 9 experiments, with 3 organomineral fertilizers of agricultural interest being found at the end. The 3rd stage was the planting of corn for silage in polyethylene pots, demonstrating that the treatments that had the lowest amount of lime presented better results. The 4th stage was planting in the field using briquetted organomineral fertilizer, demonstrating great advantages in its application. The results demonstrated that the briquette composed of castor cake at a dosage of 50% of fertilizers calculated for the crop, produced 74.2 ton.ha⁻¹ of wet mass against 53.2 ton.ha⁻¹ of conventional treatment with 100% of the dosage of fertilizers. Considering the gains with the reduction in the dosage of fertilizers and productivity the briquette produced, a profit of R\$ 1,056.00 ha⁻¹ with numerous expected advantages, such as the increase in soil organic matter over time, improvement of soil biota, increase in fertility and soil loads.

Keywords: Fertilizer, organomineral, briquette, release, slow.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de Fertilizantes.	16
Figura 2. Representação esquemática das classes pertencentes aos fertilizantes de eficiência aprimorada. Fonte: Adaptada de Valderrama e Buzetti (2017).....	17
Figura 3. Distribuição granulométrica do calcário.	25
Figura 4. Custo dos insumos (US\$/g).	26
Figura 5. Espaço Amostral das etapas (a) 1 e (b) 2.	27
Figura 6. Briquetes produzidos nas etapas (a) 1 e (b) 2.	27
Figura 7. Distribuição granulométrica da torta de mamona	31
Figura 8. Fluxograma para fabricação dos briquetes.....	32
Figura 9. Tratamentos de briquetes fertilizados	35
Figura 10. Bancada experimental	36
Figura 11. Implantação do experimento em vasos.....	36
Figura 12. Implantação dos testes agrônômicos em campo	38
Figura 13. Resultados obtidos para o tempo de diluição dos briquetes em água e número de quedas para os aglomerantes alimentícios (a e b), farmacêuticos (c e d) e inorgânico (e e f).....	43
Figura 14. 46 experimentos fertilizados	48
Figura 15. Dissolução em água a 25 °C experimento 39.....	56
Figura 16. Gráfico de Pareto para variável resposta dissolução em água a 25 °C.....	58
Figura 17. Dissolução em água a 25 °C.....	60
Figura 18. Gráfico de Pareto variável queda a 1,2 m.....	64
Figura 19. Resultados do teste de queda a 1,2 m. Fonte: Própria.....	65
Figura 20. Briquetes organominerais produzidos na etapa 2. Fonte: Própria.....	69
Figura 21. Boxplot pra queda a 1,2 m. Fonte: Própria.....	71
Figura 22. Boxplot para Dissolução em água a 25 °C. Fonte: Própria.....	72
Figura 23. Condições Climáticas. Fonte: Própria.....	73
Figura 24. Progressão dos sintomas de deficiência no experimento.	76
Figura 25. Altura e diâmetro das plantas -DAP.	78
Figura 26: Briquetes, parte aérea e raízes do teste agrônômico em vasos.....	81
Figura 27. Evapotranspiração real e precipitação no ciclo da cultura.....	96
Figura 28. Evolução dos testes agrônômicos em campo	97

Figura 29. Diâmetro e altura no ciclo da silagem de milho.....	103
Figura 30. Evolução teste em campo - tratamentos convencionais	106
Figura 31. Evolução teste em campo tratamentos com torta de mamona.....	111
Figura 32. Evolução teste em campo- tratamentos com gesso	117
Figura 33- Características das espigas.....	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Insumos utilizados na pesquisa.....	20
Tabela 2. Caracterizações físicas e químicas Sorbitol 70%.....	21
Tabela 3. Caracterizações físicas e químicas da Glicerina.	21
Tabela 4. Caracterizações físicas, químicas e biológicas da Gelatina em placas ...	22
Tabela 5. Caracterizações físicas e químicas do Gesso.....	22
Tabela 6. Caracterizações físicas e químicas do Xarope de Glucose.....	23
Tabela 7. Caracterizações físicas e químicas da Goma Guar.	23
Tabela 8. Caracterizações físicas, químicas e biológicas da Goma Xantana... ..	23
Tabela 9. Caracterizações físicas e químicas da Goma arábica.....	24
Tabela 10. Garantias mínimas adubo líquido Vitan.....	25
Tabela 11. Análise físico química do calcário.....	25
Tabela 12. Variáveis independentes e níveis do DCCR.....	28
Tabela 13. Atributos físico-químicos do solo utilizado.....	29
Tabela 14. Caracterização química da torta de mamona.....	30
Tabela 15. Matriz experimental padronização dos corretivos e fertilizantes.....	33
Tabela 16. Planejamento de mistura.....	34
Tabela 17. Atributos físico-químicos do solo.....	40
Tabela 18. Planejamento de mistura para produção dos briquetes.....	41
Tabela 19. Análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos para o tempo de dissolução dos briquetes em água à 25 °C.....	47
Tabela 20. Análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos para o teste de queda à 1,20m.	47
Tabela 21. Resultados da otimização numérica.....	48
Tabela 22. Média das variáveis resposta a etapa 1.....	53
Tabela 23. Tratamentos mais expressivos em termos de variáveis resposta para o DCCR	54
Tabela 24. Teste de Scott Knott para os 46 experimentos variável dissolução em água a 25 °C.	54
Tabela 25. Teste de Scott Knott para os 46 experimentos variável queda a 1,2 m.	57
Tabela 26. Média da dissolução em água a 25°C e da queda a 1,2m dos fertilizantes briquetados.....	70

Tabela 27. Velocidade de emergências das plântulas.	74
Tabela 28. Resultados para a altura e o diâmetro do milho 17 DAP.....	75
Tabela 29. Análise foliar tratamento 12.	77
Tabela 30. Valores de referência dos teores foliares de nutrientes considerados adequados para a cultura do milho.....	77
Tabela 31. Comprimento médio de raízes, matéria seca (Ms) das raízes e matéria seca (Ms) da parte aérea 30 DAP.....	80
Tabela 32. Altura e diâmetro das plantas de milho 82 DAP.....	104
Tabela 33. Dimensões espigas de milho	124
Tabela 34. Dimensões espigas de milho e produção de silagem por área.....	128.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVOS	7
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3.1. Aglomeração de finos por briquetagem	8
3.2. Aglutinantes	11
3.3. Liberação lenta/controlada de nutrientes.	13
3.4. Fertilizantes convencionais e de liberação lenta/controlada.	14
3.5. Silagem de milho	18
4. MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1 Pré Testes	19
4.2. Briquetagem com goma xantana	26
4.3. Testes agronômicos em vasos	33
4.3. Testes agronômicos em campo	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
5.1. Briquetagem com goma xantana	48
5.2. Testes agronômicos em vasos	72
5.3. Testes agronômicos em campo	96
6. CONCLUSÕES	130
7. REFERÊNCIAS	132

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas vêm permitindo incrementos positivos na produção e na produtividade das *comodities* agrícolas alinhando uma demanda cada vez maior por alimentos. Essa produção é muito 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. Os fertilizantes químicos são fontes de macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio, cálcio e magnésio) e micronutrientes (boro, zinco, silício, entre outros). 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.* (2002) os fertilizantes minerais são produtos de natureza inorgânica, naturais ou sintéticos, fornecedores de nutrientes aos vegetais. De forma geral as plantas durante seu ciclo de vida necessitam de cerca de dezessete elementos: carbono (C), oxigênio (O), hidrogênio (H), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cloro (Cl), manganês (Mn), boro (B), zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu), níquel (Ni) e molibdênio (Mo). O interessante que os três primeiros constituem elementos não minerais já que são retirados do ar e correspondem a mais de 95% da matéria seca das plantas. O restante possui como fonte principal a solução do solo e, portanto, classificados como elementos minerais ou nutrientes minerais e mesmo representando apenas 5% da massa seca são essenciais de acordo com a lei do mínimo de Liebig (Fernandes, 2006; Barbosa *et al.*, 2009). Essa parcela de 5% pode ser classificadas em macro e micronutrientes, de acordo com a concentração encontrada em seus tecidos. Aqueles encontrados em 'grandes' concentrações são designados de macronutrientes, sendo eles N, P, K, Ca, Mg e S. Já aqueles em 'pequenas' concentrações são os micronutrientes, sendo eles Cl, Mn, B, Zn, Fe, Cu, Ni e Mo (Malavolta, 2006; Waraich *et al.*, 2011).

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 sendo que o Brasil é expressivo importador tendo baixa capacidade produtiva destes fertilizantes em solo brasileiro. Sendo assim, o estudo de técnicas e processos que melhorem a eficiência no uso de fertilizantes são

na atualidade foco dos estudos agronômicos dentre os quais destacamos os adubos de liberação lenta/controlada (Cunha *et al.*, 2021; Marques *et al.*, 2013).

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 mantêm alto custo na sua aplicação podendo aumentar o valor do produto de 2 a 8 vezes (Valderrama *et al.*, 2014). Outra dificuldade está na determinação com precisão das dosagens ideais de aplicação e isso se deve em grande parte pela enorme heterogeneidade dos solos brasileiros em muito justificado pelas dimensões continentais do país, produzindo diferentes composições numa grande gama de culturas produzidas e diferentes sistemas de cultivo. Outros fatores que estão diretamente ligados a esses 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 à planta, o que não é interessante (Marschner *et al.*, 2005).

Uma técnica pouquíssima estudada 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 geralmente em forma de pó ou em solução, durante a granulação por via úmida, afim de produzir materiais coesos, por processos de compressão. No uso de aglutinantes não deve-se levar em consideração apenas suas propriedades ligantes, mas deve ser de fácil aquisição, possuir custo acessível e de produção em larga escala. Neste contexto alguns aglutinantes, como açúcares ou biopolímeros naturais e as gomas alimentícias, têm substituído alguns polímeros sintéticos, já que oferecem melhor qualidade de estabilização e ligação (Karsa & Stephenson, 2000).

O presente trabalho utilizou o calcário filler, um resíduo 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. OBJETIVOS

GERAL

Produzir um fertilizante organomineral de liberação controlada de nutrientes para ser aplicado ao plantio de milho/silagem.

ESPECÍFICOS

- Definir o melhor aglutinante afim de produzir um briquete com resistência mecânica superior a 75 quedas a 1,2 m e resistência a dissolução em água a 25 °C maior que 8 horas além de menor custo por grama.
- Testar vários planejamentos de mistura dentro das variáveis calcário, torta de mamona, adubo líquido, adubo sólido e níveis de compressão para entender as variáveis significativas e suas interações.
- Testar agronomicamente em vasos os fertilizantes organominerais produzidos aplicados a produção de milho silagem.
- Testar agronomicamente em campo os fertilizantes organominerais produzidos e verificar a relação com o teste em vasos e o desenvolvimento em condições de campo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Aglomeração de finos por briquetagem

Não é atual o conceito de reaproveitamento de partículas muito finas, sejam elas de origem mineral, agrícola ou industrial (Carasek *et al.*, 2018) uma vez que em sua grande maioria geram problemas ambientais, além de desperdício econômico à atividade na qual estão inseridas.

Em linhas gerais, a briquetagem consiste na aplicação de pressão a uma massa úmida composta por partículas pequenas e desagregadas, podendo ser feito com ou sem a adição de ligantes entre partículas, podendo variar inclusive a temperatura durante o processo. A princípio, o uso de aglutinantes é realizado em materiais que não possuem coesão entre suas partículas. De forma geral, não há uma lista ou tabelas normatizadas que limitem aglomerantes ou diga quais são suas dosagens para nenhum material específico, porém existe uma ciência que busca essas informações a fim de obter o melhor aglomerante para determinados materiais, considerando ainda aspectos econômicos que inviabilizem economicamente a produção dos briquetes (Magalhães *et al.*, 2019).

Sendo assim, a briquetagem tem o poder de transformar materiais sem valor e potencialmente poluidores em produtos com grande valor, sejam para serem utilizados como combustíveis ou para produção de outros produtos a serem utilizados por exemplo na agricultura. Os primeiros relatos de aglomeração por briquetagem de finos surgiram nos EUA no século XIX com carvão, tendo a finalidade de serem queimados nos aquecedores. Já no Brasil, em 1965, surgiu a Companhia Brasileira de Briquetes em Minas Gerais, mais precisamente na cidade de Mateus Leme, aglomerando carvão vegetal, passando em 1974 a serem comercializadas as primeiras briquetadeiras por uma empresa de Contagem-MG conhecida como Carvel. Em 1994, surge a Companhia Siderúrgica de Cubatão-CST que passou a briquetar resíduos de suas aciarias na produção de aço. Já atualmente a técnica é nacionalmente e internacionalmente conhecida sendo utilizada e pesquisada por renomadas instituições como a Embrapa Agroenergia (Koppert Group, 2023).

Deve-se entender que a briquetagem é um dos processos do arcabouço da aglomeração de finos juntamente com a sinterização e a pelletização. A aglomeração baseia-se em processamentos físicos e/ou químicos destinados a materiais de

granulometria fina, cujo objetivo é transformá-los em conjuntos coesos de partículas (através da rígida ligação entre elas), de acordo com tamanho e forma adequados ao uso nos processos industriais posteriores (Buzin, 2009). Nesse contexto existem três processos de aglomeração de finos mais comumente usados na indústria que são: briquetagem, sinterização e pelotização, cujos produtos finais são o briquete, o sinter e a pelota, respectivamente (Dutra, 2015).

A briquetagem consiste na aglomeração de partículas finas por meio de pressão, com auxílio ou não de um aglutinante, permitindo a obtenção de um produto não só compactado, porém, com forma, tamanho e parâmetros mecânicos adequados. A redução de volume do material, em alguns casos, além dos benefícios tecnológicos, permite que materiais finos possam ser transportados e armazenados de forma mais econômica (Szulc *et al.*, 2024).

Já a pelotização tem por objetivo a agregação de partículas finas (menores que 1,0 mm que após um tratamento térmico, resultam em um agregado cujas características químicas e físicas - granulometria, resistência mecânica, entre outras tornam seu uso adequado aos processos siderúrgicos (Veiolaia, 2021).

A sinterização pode ser definida como um processo físico, termicamente ativado, que faz com que um conjunto de partículas de um determinado material, inicialmente em contato mútuo, adquira resistência mecânica. Durante a sinterização, a porosidade da estrutura é fechada. Para isto, o material deve ser deslocado para preencher os espaços vazios. A maneira que ocorre esse processo, identificam-se os mecanismos para acelerar a sinterização que são: a sinterização por fase sólida, fase líquida, sinterização ativada, sinterização reativa (Ulusaf & Avsar, 2020).

No processo de briquetagem, a aglomeração de partículas finas em prensas ocorre por diferentes ligações químicas, sejam elas de ocorrência natural ou com o uso de ligantes para formar corpos sólidos de tamanho pretendido, porém, é fato que, quanto mais próximas as partículas, maiores as forças que as mantêm. Nesse sentido, duas variáveis se tornam imprescindíveis, a umidade da mistura e a escolha do ligante (Feeco International, 2018; Francik *et al.*, 2020).

Uma vez determinada a umidade e aglutinante correto, o processo de briquetagem pode ocorrer por 3 processos distintos dentre os quais encontram-se a briquetagem em prensas hidráulicas, em prensas de rolos ou por extrusão (Aransiola, 2019). Na briquetagem em prensa hidráulica se torna difícil a produção de briquetes pequenos já que são dependentes de fôrmas e necessitam de pequenos volumes de

mistura. Essa dificuldade leva a um custo sendo do ponto de vista econômico não compensatório quando se produz briquetes menores que 6 mm (1/4") de largura e comprimento de 12 mm (1/2") (Keep Group, 2023). Dessa forma, o tipo e a quantidade de aglutinante estão ligados as características tais como resistência mecânica pretendida, tipo e qualidade do material, tamanho de partículas, superfície específica, origem química do material, dentre outras e por todo esse conjunto de variáveis dependentes é necessária a contínua pesquisa sobre o assunto (Agra *et al.*, 2015; Efting., 2014). A ideia básica é que quanto menor o material e menos coeso o material, maior a quantidade de aglutinante necessária. Já a umidade além de depender de todas as variáveis anteriores apresentadas, apresenta ligação direta com a pressão a ser aplicada ao material e, portanto, sendo imprescindível o controle do processo porque a carga isolada diz parte da resposta, mas a velocidade de aplicação, área de superfície aplicada, tipo de molde utilizado e controle do processo ditam outra de igual importância.

Existe ainda a importância de testes aplicados aos briquetes dentre os quais compreendem: a resistência à compressão onde basicamente ele sofre um aumento de carga progressiva até seu rompimento tendo uma resistência considerada boa quando atinge pelo menos 3,57 kgf/cm² (Carvalho *et al.*, 2018). Outro teste é o de resistência ao impacto onde o briquete é submetido a diferentes alturas de queda livre iniciando a partir de uma altura de 0,3 m tendo um anteparo (placa de aço) com espessura de 10 mm. A resistência ao impacto é determinada pelo número de quedas consecutivas que o briquete consegue resistir sem fragmentar ou o número de quedas que o briquete resiste limitando o teste a uma perda máxima de 5% em peso. Outro teste é a resistência à abrasão (atrito) que é basicamente a análise da geração de partículas com tamanho menores que 3,3 mm, após 15 min de peneiramento em peneirador vibratório do tipo Ro-Tap. Há também a resistência a ação da água que consiste na observação do tempo necessário para que o briquete seja completamente desfeito, ou pelo aumento de volume do mesmo ou pela deterioração conformativa. Outra característica física é a densidade que é a relação entre massa e volume do briquete produzido.

3.2. Aglutinantes

Existem grandes famílias que chamamos genericamente de ligantes e dentre estas estão os aglutinantes, necessários principalmente em materiais não coesos e mesmo em alguns casos naqueles pouco coesos que não são capazes sozinhos de produzir um briquete com resistência mecânica desejada. No caso dos aglutinantes existe uma enorme quantidade deles e de diversas origens como por exemplo os farmacêuticos, alimentícios, petroquímicos, inorgânicos, vegetais etc (Acda & Devera, 2019; Arranz, *et al.*, 2015).

No caso do uso de aglutinantes deve-se atentar que o interesse não é apenas na resistência mecânica final do briquete, porém outras variáveis devem ser levadas em consideração como toxicidade, dissolução em água, custo-benefício e degradabilidade no ambiente. Como exemplo, temos o alcatrão, excelente aglutinante, mas produz toxinas que podem contaminar o solo e a planta, outro exemplo é o cimento que produz muita resistência mecânica, mas não pode ser utilizado na agricultura porque possui dissolução lenta no ambiente não permitindo fornecimento desejado às plantas, seja em termos nutricionais, físicos ou químicos (Agra *et al.*, 2015; Azargohar *et al.*, 2015).

De forma geral, esses ligantes são conhecidos industrialmente como adjuvantes (ou excipientes), podendo ser divididos em aglutinantes, diluentes, lubrificantes e desintegrantes. Até algum tempo atrás tratava-se os adjuvantes como materiais inertes e juntamente com os invólucros dos fertilizantes para controle de liberação controlada, essa definição começou a ter uma conotação pouco científica e inverídica. Inclusive para a indústria alimentícia e farmacêutica a definição Segundo a Confederação Internacional de Excipientes (*International Pharmaceutical Excipients Council*, IPEC), é muito diversa dessa proposta, pois a ideia é que são “substâncias incluídas em um sistema de liberação de IFAs para auxiliar durante o processo de manufatura e/ou proteger ou aumentar a estabilidade, biodisponibilidade e/ou aceitabilidade pelo paciente, ou aumentar a segurança e efeito terapêutico do IFA durante o seu estoque e uso” (Karsa & Stephenson, 2000). A indústria farmacêutica e alimentícia é consideravelmente mais desenvolvida quando mencionamos a compactação de finos, haja vista a produção de comprimidos e balas alimentícias. O processo mais utilizado é a compressão úmida, ocorrendo pesquisas por excipientes

multifuncionais, ou seja, aqueles que além de ligar os materiais são capazes de agregar outras propriedades sendo largamente utilizados e vem ganhando grande espaço. Nesses aspectos, alguns excipientes têm ganhado destaque como a lactose *spray-dried* e a celulose microcristalina que produzem ligações químicas e estabilizam os materiais (Botha & Lötter, 1990; Lachman *et al.*, 2001; Alderborn, 2005).

Já quando o assunto são os diluentes, o que se busca são materiais capazes de substituir os ingredientes principais além de dar estabilidade. Um deles é o amido, obtido de milho, do trigo ou batata, mas que apesar das ótimas características diluentes possui o inconveniente de reter umidade. Para contornar esse problema é muito utilizado amido pré-gelatinizado, com propriedade diluente, aglutinante e/ou desintegrante, entretanto, de elevado custo. Já a celulose microcristalina, é um diluente de compressão direta, com propriedades únicas à produção de comprimidos coesos, atuando como diluente, aglutinante e desintegrante (Lachman *et al.*, 1991; Alderborn, 2005).

Os aglutinantes em geral são utilizados 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 menciona-se os aglutinantes não deve se levar em consideração apenas suas propriedades ligantes, mas deve ser muito disseminado comercialmente por possuir custo acessível e de produção em larga escala. Neste contexto, alguns aglutinantes como açúcares ou biopolímeros naturais como as gomas alimentícias, têm substituído alguns polímeros sintéticos, já que oferecem melhor qualidade de estabilização e ligação (Karsa & Stephenson, 2000).

As gomas por exemplo são carboidratos complexos produzidos por uma grande quantidade de plantas e utilizadas comercialmente nos mais diversos setores industriais, tendo a vantagem de serem materiais biodegradáveis e que possuem propriedades espessantes e geleificantes extremamente utilizadas no setor de alimentação. Além disso, possui uma característica muito desejável na compactação de briquetes que serão utilizados na agricultura por formarem um amplo grupo de polissacarídeos solúveis em água, tornando o material solúvel dentro do espaço de tempo desejado. Elas são provenientes de animais terrestres, marítimos ou de origem microbiana, como é o caso por exemplo das gomas xantana, arábica e guar com ampla capacidade de aumentar a viscosidade da solução e formar géis devido ao seu

caráter altamente hidrófilo, dando propriedades significativas relacionadas as cadeias polissacarídeas.

Dentre essas possibilidades, a goma xantana tem alcançado destaque. Trata-se de um heteroexopolissacarídeo, provindo da biossíntese no processo de fermentação de açúcares pelas bactérias *Xanthomonas*, e tendo como principais características alta viscosidade e pseudoplásticas, sendo por isso, uma das mais aplicadas nas indústrias farmacêuticas, alimentícias e petroquímicas (Araújo *et al.*, 2005). Ela possui características físico-químicas que superam em muitos 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. (Demirkesen *et al.*, 2010; Kiosseoglou *et al.*, 2003).

As gomas de peso molecular são menos viscosas tendo ampla vantagem as de origem linear por formarem soluções mais viscosas ocupando maiores espaços funcionando assim como agentes ligantes e espessantes. Já as que são ramificadas possuem maior estabilidade e formam mais facilmente géis já que há uma diminuição das interações intermoleculares devido as ramificações. Na verdade, o que mais se busca em uma solução com goma é a viscosidade ligada a gelatinização e sua característica espessante.

3.3. Liberação lenta/controlada de nutrientes.

Na agricultura moderna houve a intensificação do uso de máquinas o que não permite um uso individualizado do fertilizante nem uma aplicação muito parcelada de acordo com a necessidade da planta, já que isso gera custos financeiros muito elevados, além de criar outros problemas ambientais quanto ao uso de combustíveis fósseis. Como o parcelamento provocaria sérios problemas econômicos devido ao maior uso de equipamentos e riscos econômicos devido a maior mobilização homem/máquina, a solução mais simples é a concentração na colocação do fertilizante para a planta, que associado ao alto intemperismo dos solos, o que gera

menores quantidades de cargas fazendo com que a matriz mineral do solo não consiga absorver e armazenar todos os nutrientes, tornando-os disponíveis em solução e logicamente mais susceptíveis a perda (Strategic Report, 2020).

Sendo assim, muito tem se buscado pela construção de fertilizantes de liberação lenta e/ou controlada, já existindo no mercado fontes de nitrogênio formadas pela condensação de ureia, ureia-aldeídos e fertilizantes encapsulados e/ou recobertos por polímeros, respectivamente. A promessa desses materiais é uma entrega do nutriente de forma mais gradual e de acordo com a necessidade da planta, evitando perdas e proporcionando a aplicação em menores quantidades sendo por isso muitas vezes tratados como adubos inteligentes ou ecológicos (Shaviv, 2001; Trenkel, 2010).

A técnica mais difundida na atualidade é o encapsulamento do fertilizante utilizando polímeros sintéticos o que na prática pode produzir um efeito tão danoso quanto a perda de nutriente já que se tratam de produtos de baixa degradabilidade o que pode levar ao acúmulo no solo gerando problemas ambientais de outra natureza (Valderrama *et al.*, 2011).

3.4. Fertilizantes convencionais e de liberação lenta/controlada.

Para a agricultura existem algumas famílias que determinam quimicamente a produção de alimentos, a exemplo, os calcários (Brasil, 2006), os fertilizantes (Brasil, 2004 e 2014), os condicionadores de solo (Brasil, 2006), remineralizadores de solos (Mapa, 2016) e os substratos de plantas (Brasil, 2013). Do ponto de vista dos calcários, esses possuem duas funções básicas, fornecer cálcio, magnésio e neutralizar o alumínio tóxico através do aumento de pH do solo. Já os fertilizantes, sejam químicos ou orgânicos, devem fornecer o restante dos nutrientes à planta sejam via solo ou via foliar, enquanto os condicionadores são aqueles materiais que podem fornecer algum nutriente, mas sua função principal é criar condições em torno da planta para melhorar e/ou aprimorar a absorção, protegê-la ou auxiliar processos paralelos, mas não menos importantes, como auxiliar a biota do solo responsável pela mineralização dos fertilizantes, constituída por seres vivos capazes de realizar processos biogeoquímicos essenciais às plantas.

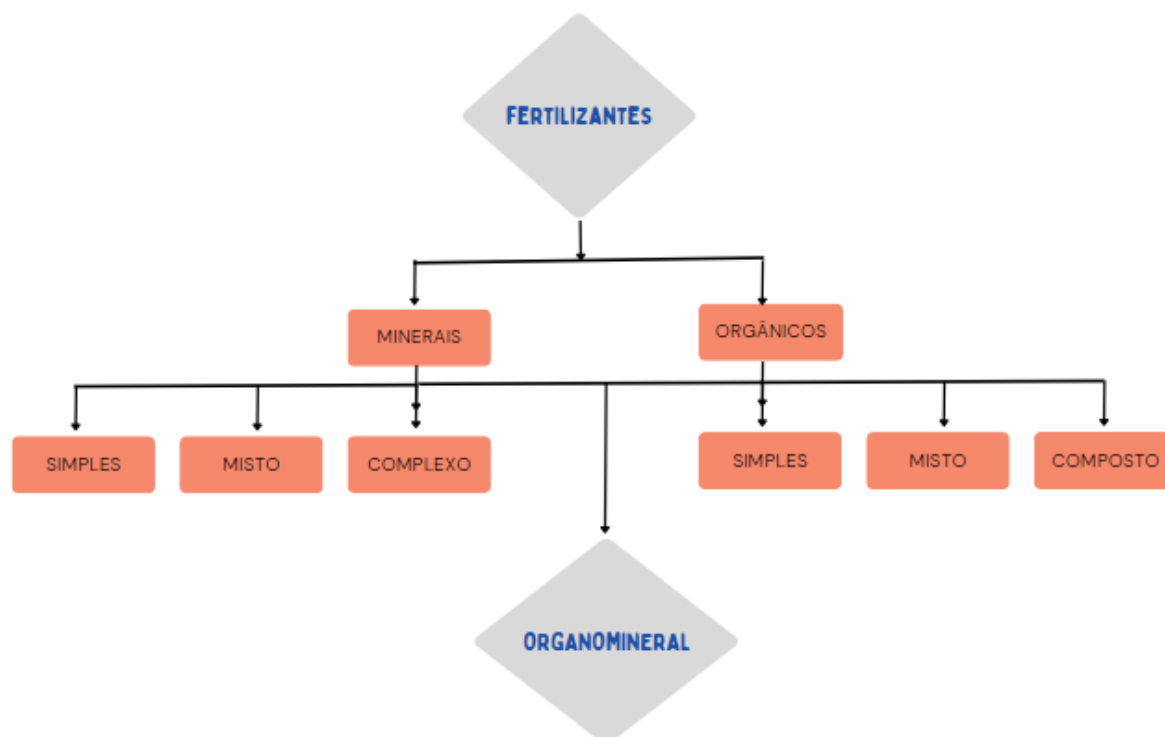
Quanto aos remineralizadores de solo Conforme o Decreto-Lei dos Fertilizantes, de 2014, “são rochas ou outros materiais de origem mineral que sofreram redução por processos mecânicos e que melhoram a fertilidade do solo, a partir da adição de macro e micronutrientes para plantas e melhoramento físico e químico do solo” e por fim os substratos de plantas que podem ser orgânicos ou minerais, capazes de garantir a sustentação para as raízes da planta, auxiliando na retenção de água, o que contribui para a melhor absorção de nutrientes pela planta.

Mais precisamente os fertilizantes minerais para Malavolta *et al.* (2002) são produtos de natureza inorgânica, naturais ou sintéticos, fornecedores de nutrientes às plantas. Entre todos os elementos, há grande destaque para o nitrogênio, fósforo e potássio já que pela própria definição de macronutrientes são requeridos pela planta em grandes quantidades e muito pouco produzidos em solos brasileiros. Existe uma regra prática e bem simples na definição de macro e micronutrientes denotadas pela quantidade de elementos químicos absorvidos no tecido da planta e que podem ser na ordem de kg. ha⁻¹, que constituem os macronutrientes, enquanto os micronutrientes são exigidos em quantidades da ordem de g .ha⁻¹ (Novais *et al.*, 2007).

Estes fertilizantes minerais até por definição são aqueles produzidos em mineradoras dada a extração de rochas específicas onde são trituradas e tratadas físico quimicamente ou termicamente, e dispostos para a agricultura e por isso são chamados de fertilizantes sintéticos de alta solubilidade. Outro tipo de fertilizante são os fertilizantes orgânicos que além de fornecer nutrientes como os minerais auxiliam na retenção de nutrientes, pois geram cargas ao solo, principalmente graças aos seus ácidos orgânicos além de regular os processos bioquímicos das plantas e auxilia a biota do solo se tornando imprescindível ao estabelecimento das culturas.

Sejam orgânicos ou inorgânicos (Figura 1) a primeira preocupação com seu uso consciente começa pelo correto diagnóstico de seus níveis no solo (Serrano *et al.*, 2006) uma vez que sua aplicação deverá suprir a deficiência do sistema e a necessidade da cultura, levando-se em consideração as perdas que cada nutriente pode sofrer para que não haja deficiência para a planta.

Figura 1. Tipos de Fertilizantes. Fonte: Brasil, 2004; Alcarde, 2007.



A algumas décadas observou-se que uma parte importante do adubo mineral e orgânico era perdido de alguma forma por diferentes processos e situações levando a perdas ambientais e econômicas, o que no caso do Brasil gerava uma maior dependência externa já que nossa produção principalmente mineral de fertilizantes é muito pequena.

Sendo assim tem-se buscado o aprimoramento da eficiência (Figura 2), porém deve-se entender que não são desenvolvidos novos adubos, o que é utilizado são matérias-primas convencionais, onde são empregadas novas técnicas que limitam a sua liberação quanto a disponibilidade para as plantas. Logo o que se busca é controlar a liberação dos nutrientes afim de evitar reações bioquímicas (Trenkel, 2010) de forma excessiva permitindo a possibilidade de perdas.

Figura 2. Representação esquemática das classes pertencentes aos fertilizantes de eficiência aprimorada. Fonte: Adaptada de Valderrama e Buzetti (2017).



Neste aspecto uma técnica que ganhou grande destaque foi o encapsulamento do material, porém sendo usado polímeros sintéticos que além de terem baixa biodegradabilidade mantém alto custo na sua aplicação podendo aumentar o custo do produto de duas a oito vezes (Valderrama *et al.*, 2014) o tornando muitas vezes, inviável. Uma dificuldade para o avanço é a determinação das dosagens ótimas de aplicação (Rossa *et al.*, 2011) e isso se deve em grande parte pela enorme heterogeneidade dos solos brasileiros devido as dimensões continentais do Brasil, produzindo diferentes composições relacionadas a uma grande gama de culturas, que podem ser produzidas, além é claro, da enorme quantidade diferente de sistemas de cultivo empregado. Outro fator que está diretamente ligado a esses estudos é a relação entre liberação lenta/controlada e a necessidade nutricional pela planta, o que pode acarretar em um desbalanço, proporcionando um estresse nutricional à mesma (Rodella, 2018). Por isso, a importância na incorporação de materiais orgânicos a esses materiais encapsuladores para permitir a liberação lenta, mas manter as relações bioquímicas entre os diferentes agentes sejam bióticos ou abióticos do solo (Oliveira, 2016).

Os fertilizantes estabilizados referem-se aos adubos convencionais, solúveis em água, contendo aditivos capazes de alterar ou inibir processos enzimáticos e de micro-organismos do solo tendo no mercado uma grande gama muito ligada aos adubos nitrogenados. No presente trabalho, há predomínio no interesse de liberação lenta ou controlada que apresentam características de atraso ou tempo prolongado de liberação de nutrientes às plantas (Chien *et al.* 2009; Trenkel, 2010).

Essa liberação lenta ou controlada de nutrientes, pode ser alcançada pela redução ou ajuste da solubilidade do material em água por meio de revestimentos semipermeáveis, oclusão ou outras formas químicas, hidrólise lenta de compostos de baixa solubilidade em água ou por outros mecanismos (Shaviv, 2001).

3.5. Silagem de milho

A cidade de Patos de Minas-MG está localizada na macrorregião conhecida como Alto Paranaíba assim denominada por compor os municípios localizados próximos a nascente do Rio Paranaíba de importância e relevância nacional. A classificação do clima é Aw de acordo com a Köppen e Geiger, tendo temperatura média, 21.8 °C, pluviosidade média anual de 1296 mm com períodos secos e chuvosos bem definidos. O período seco normalmente está compreendido entre os meses de maio a outubro levando a uma diminuição considerável de forrageiras para o gado, que nessa região historicamente predominava a criação extensiva no pasto. Além de buscar soluções para o período seco no que tange as forrageiras, tem crescido a criação intensiva de gado extremamente dependente de volumosos com qualidade nutricional e palatável aos animais (Carvalho, 2016).

Daí a necessidade de utilização de forragens conservadas, tendo destaque a silagem de milho por diversos fatores como o fato da cultura ser atualmente uma das mais tecnológicas geneticamente, ter uma produção de massa verde razoável, manter o valor nutritivo e ter boa fermentação não precisando de cuidados especiais ou adição de aditivos ou outros produtos (Jobim *et.*, al 2007).

O milho é uma gramínea, sendo, portanto, uma planta que tem um aproveitamento energético muito grande por área, boa adaptação edafoclimática à região, boa produtividade além de boas características fermentativas, não necessitando de grandes investimentos em seu armazenamento ou adição de

produtos para sua conservação. (Godoi, 2010). A alimentação animal representa o maior gasto dos produtores da região, com o gado podendo chegar a 70% dos custos totais (Costa & Brezolin, 2014), que podem ainda ser maiores se houver escolha incorreta de volumosos devido ao aumento nos gastos com rações. Sendo assim, a pesquisa deve auxiliar na busca por silagens de milho cada vez melhores, afim de aumentar a capacidade produtiva em período seco através da produção de uma massa nutritiva, palatável e capaz de suprir ao máximo possível as necessidades nutricionais dos animais, diminuindo perdas financeiras ao rebanho e sanitárias aos animais (Carvalho *et al.*, 2013).

Nesse contexto, deve-se lembrar que na silagem de milho toda a planta é cortada, o que gera requerimentos nutricionais ao solo em patamares muito elevados, podendo gerar perdas de nutrientes, contaminação de lençóis, perdas financeiras consideráveis, além de diminuição do carbono orgânico do solo. Além da questão nutricional há os cuidados na própria preparação e armazenamento da silagem como compactação eficiente, vedação adequada e manutenção da boa proporção altura/compactação. Além disso, a qualidade da silagem tem relação direta com seu consumo pelos ruminantes, lembrando que o crescimento vegetativo compreendido entre a emergência e a maturidade influenciarão os teores de Matéria Seca (MS), a qualidade das espigas, de carboidratos solúveis e de outras substâncias nitrogenadas dessa planta e o seu poder tampão alterando completamente seu comportamento dentro do silo. Ao somatório de cultivar, escolhido, manejo adequado do solo e da fertilidade, manejo e confecção do silo, duração do período de conservação da silagem às condições climáticas (Demincis *et al.*, 2009) e manejo após a abertura do silo (Jobim *et al.*, 2002) refletirão na qualidade final da silagem.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Pré-testes

Os aglomerantes testados foram de origem farmacêutica (sorbitol e glicerina), alimentícia (glucose, goma guar, goma xantana, goma arábica e gelatina) e um inorgânico (gesso de construção). Os insumos utilizados, bem como seus fornecedores, estão dispostos no Tabela 1 e suas caracterizações físicas, químicas, biológicas e de custo por grama (US\$/g) nas tabelas de 2 a 11 e nas figuras 3 e 4.

Tabela 1. Insumos utilizados na pesquisa.

Insumos	Tipo	Fabricantes/Fornecedores
Sorbitol	Farmacêutico	Valdequímica Produtos Químicos LTDA
Gelatina	Alimentício	Gelita do Brasil LTDA
Glicerina	Alimentício	Farmax LTDA
Glucose	Alimentício	2 Rodas Industrial LTDA
Goma guar	Alimentício	Doramus Alimento LTDA
Goma xantana	Alimentício	Leve Croc LTDA
Goma arábica	Alimentício	TCA LTDA
Gesso de construção	Inorgânico	Gesso América
Adubo líquido (Vitan)		Satis Indústria e Comércio LTDA
Calcário agrícola dolomítico	Inorgânico	Cala Calcário Lagamar LTDA
Aubos sólidos	Inorgânico	Fertilizantes Heringer S.A.

Fonte: Própria.

Variou-se os aglomerantes em 6 níveis (0,25; 0,50; 1,00; 1,25; 1,50 e 2,00 g) fixando-se a massa de calcário em 10 g e o volume de adubo líquido adicionado em 8 ml. Os insumos foram homogeneizados manualmente por 10 minutos (até atingir completa homogeneidade da mistura) com umidade conformativa em 8%, sendo a umidade de cada ingrediente da mistura determinada pelas metodologias preconizadas para calcário e fertilizantes (Brasil, 2017), aglutinantes (Ial, 2008) e adubo líquido conforme estabelecido na embalagem do produto.

A briquetadeira utilizada, do tipo prensa hidráulica, pode ser vista no trabalho de Barros (2016), sendo utilizada carga apenas conformativa limitada a 20 kgf. Após a conformação, os briquetes foram armazenados por 48 horas na sombra e a temperatura ambiente para sua cura. Na sequência foram realizados os testes de dissolução em água a 25 °C conforme Carvalho & Brinck (2010) e teste de queda (também conhecido como *shatter test*) (Luz *et al.*, 2010). Todos os testes foram realizados em triplicatas, garantindo que o coeficiente de variação entre as repetições fosse sempre menor que 15%.

Um teste estatístico do tipo análise de variância (ANOVA) foi aplicado aos resultados de modo a verificar se o tipo de aglomerante e a sua dosagem eram significativos no tempo de dissolução em água e na resistência à queda dos briquetes. Posteriormente, uma otimização numérica foi realizada de modo a maximizar tanto o tempo de dissolução em água quanto a resistência à queda dos briquetes, para uma

dosagem de aglomerante variando de 0,25 a 2,00 g. Para tal foi utilizado o software Design-Expert 13 © da Stat-Ease.

Tabela 2. Caracterizações físicas e químicas Sorbitol 70%.

INCI: Sorbitol CAS 50-70-4		
Lote: 2122P534	Fabricação: 06/2022	Validade: 06/2024
Item e Resultados		
Característica	Especificação	Resultado
Aparência	Líquido xaroposo	De acordo
Cor	Incolor	De acordo
Açúcar total %	≤ 2,5	2,150
Condutividade μSCM^{-1}	≤ 10,0	0,9
Densidade 25°C	≥ 1,297	1,3011
pH (50% água pH 6,0)	5,0-7,5	6,4
Matéria seca %	69,5-71,5	70,5
Teor de água %	28,5-30,5	29,5
Pureza %	≥ 64,4	65,4
D-manitol %	≤ 3,0	1,7

Tabela 3. Caracterizações físicas e químicas da Glicerina.

Produto: Glicerina			
Lote: 105	Data de fabricação: 07/2021 Data de Validade: 07/2024		
Item e Resultados			
Ensaio	Limite inferior	Limite superior	Resultado
Aparência	Líquido xaroposo, incolor	-	Conforme
Cor	Incolor	-	Conforme
Odor	Inodoro ou leve odor	-	Conforme
Densidade a 20°C	1,25	1,26	1,25
Doseamento	98,0	101,0	99,62

Tabela 4. Caracterizações físicas, químicas e biológicas da Gelatina em placas

Lote:221 Validade: 09/2024

Item e resultados	
Testes	Características
Aparência	Folhas incolor
Cor	incolor
Odor	Característico
Sabor	Característico
Química	Proteína
Umidade	8-12%
pH	5,2 a 5,8
Cinzas	≤ 2%
Arsênio	≤ 1 ppm
Cromo	≤ 2 ppm
Nitrogênio	≥ 15%
Dióxido de enxofre	≤ 10 ppm
Solubilidade em água	35°C
Combustão completa	500°C
Bactérias	≤ 1000 UFC/g
Coliformes Fecais	Ausente/g
Coliforme totais	Ausente/g
Salmonela	Ausente/25g
Bolores e Levedura	≤ 10 UFC/g

Tabela 5. Caracterizações físicas e químicas do Gesso.

Produto: Gesso

Lote: 225 Validade: 12/2025

Item e Resultados		
Item	Unidades	Unidades
Relação água /gesso	-	600/1000 a 800/1000
Resistência ao arrancamento	MPa	0,52
Absorção	%	50
Resistência a compressão	Mpa	4,5
Densidade seco	Kg/m ²	0,95 a 1,05
Norma técnica	-	NBR 7200
Aparência	-	pó
Cor	-	Branco, sem brilho com aspecto mineral
Tempo máximo de secagem	horas	3

Tabela 6. Caracterizações físicas e químicas do Xarope de Glucose

Produto: Xarope de Glucose		
Lote:0550050155 Data de validade: 11/12/2022		
Item e Resultados		
Característica		
Aspecto e cor	Líquido Viscoso Incolor. Poderá haver alteração na tonalidade variando de incolor para levemente amarelo	Conforme
Odor	Inodoro	Conforme
Sabor	característico	Conforme
Bolores e leveduras	<10 UFC/g	Conforme
Metais Pesados	Negativo	Negativo
Pesticidas	Negativo	Negativo

Tabela 7. Caracterizações físicas e químicas da Goma Guar.

Produto: Goma Guar		
Lote: 114875		
Data de Fabricação: 1104/2022 Data de validade:05/10/2023		
Item e resultados		
Característica	Especificação	Resultado
Aparência	Pó fino	De acordo
Cor	Amarelado	De acordo
Umidade %	≤ 10,0	8,8
Tamanho de partícula 100 mesh	Mínimo 99,0	99,9
Tamanho de partícula 200 mesh	Mínimo 90,0	92,0
Viscosidade (mPa.s ⁻¹)(25°C, 1% 20 RPM)	Mínimo 3000	3410
pH(sol.1%)(25°C)	5,5 -7,0	6,5
Nitrogênio %	1,3-1,7	1,6

Tabela 8. Caracterizações físicas, químicas e biológicas da Goma xantana.

Product: Xanthan Gum 200 mesh	Batch No: 9230226109	Expiry Date: 25/02/2025
Tipo MHF-200AF	Production Date: 26/02/2022	
Test item and results		
Item	Standard	Result
Appearance	Pó de fluxo livre esbranquiçado ou amarelo claro	Conforme
Assay (Of carbon dioxide)	91-108% (4.2-5%)	Conforme
Thru 200 mesh, %	≥ 92%	98,8
Viscosity1% XG in i% KCL solution, mPa.s	1300-1700	1410

Shear Ratio	≥ 6,5	7,8
Ph (1% XG solution)	6,0-8,0	7,2
Loss on Drying	≤ 13,0	9,1
Ash, %	≤ 13,0	<13,0
Pyruvic Acid, %	≥ 1,5	>1,5
Total Nitrogen, %	≤ 1,5	<1,5
Ethanol and Isopropyl alcohol ppm	≤ 500	175,3
Total Heavy Metal (as Pb), ppm	≤ 20,0	<20,0
Pb, ppm	≤ 2,0	<2,0
As, ppm	≤ 2,0	<2,0
Hg, ppm	≤ 1,0	<1,0
Cd. ppm	≤ 1,0	<1,0
V1/V2	1,02-1,45	Conforme
Total Plate Count, CFU/g	≤ 2000	200
Yeasts & Moulds, CFU/g	≤ 100	<100
Coliformes, MPN/g	≤ 3	<3
E. Coli in 5g	Negative	Negativo
Ethylene oxide (free)	≤ 0,01 ppm	ND
Salmonella	0/25g	0/25g
Staphylococcus Aureus	Negativo	Negativo
Xanthomonas Campestris in 1 g	Negativo	Negativo
Teste de atividade da amilase	Pass	Pass
Conclusão	Conforme standard of PCC and E415	

Tabela 9. Caracterizações físicas e químicas da Goma arábica.

Produto: Goma Arábica

Lote: 98667 Data de validade 9/2026

Item e Resultados

Aspecto	Pó
Cor	Creme
Sabor	Característico
Odor	Característico
Umidade	Máx 10%
pH (sol 25%)	4,1-4,8
Viscosidade (sol 25%)	60-110mPas
Cinzas totais	Max 4%
Cinzas insolúveis em ácido	Máx 0,5%
Materiais insolúveis	Máx 0,15%
Granulometria mesh 63	<15% passante

Metais pesados	Máx 20 ppm
Arsênio	Máx 3 ppm
Chumbo	Máx 2 ppm
Cadmio	Máx 1 ppm
Mercúrio	Máx 1 ppm

Tabela 10. Garantias mínimas adubo líquido Vitan. Lote: 220321 Validade: 03/2025

Nitrogênio: 6,5% 92,3 g/L	Magnésio: 0,5% - 7,1 g/L	COT: 8%- 113,6 g/L
Fósforo: 8% - 113,6 g/L	Boro: 0,6% - 8,52g/L	Cond. Elétrica 25°C - 2,9 mS/cm
Potássio: 8% - 113,6 g/L	Manganês: 0,5% - 7,1 g/L	Índice salino: 65,2%
Cálcio: 1% - 14,2 g/L	Zinco: 1% - 14,2 g/L	

Tabela 11. Análise físico química do calcário.

PN%	CaO %	MgO %			
100,05	40,38	11,25			
Granulometria Peneiras					
Retido 10 # (2mm)	Retido 20 # (0,84 mm)	Retido 50 # (0,3 mm)	Passado 50 # (0,3 mm)	UMID	REAT %
0,37	1,69	3,65	94,29	X	96,82

Figura 3. Distribuição granulométrica do calcário.

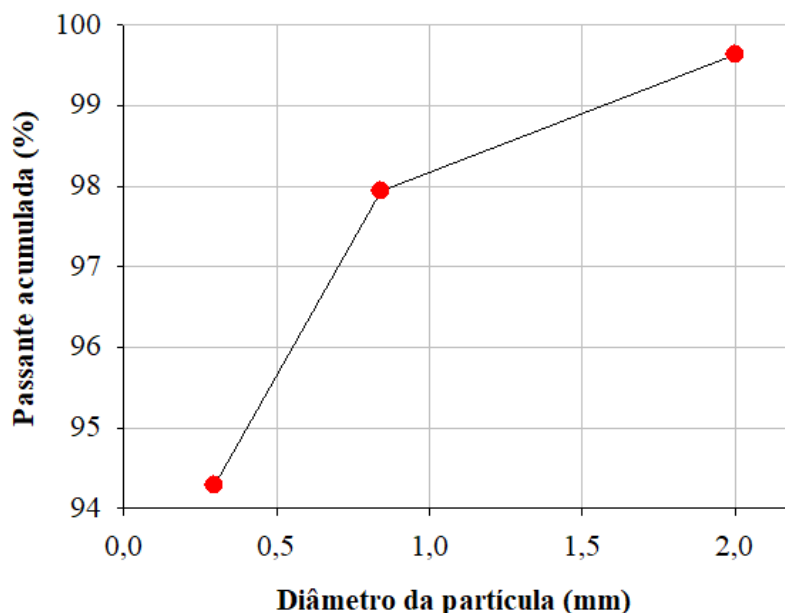
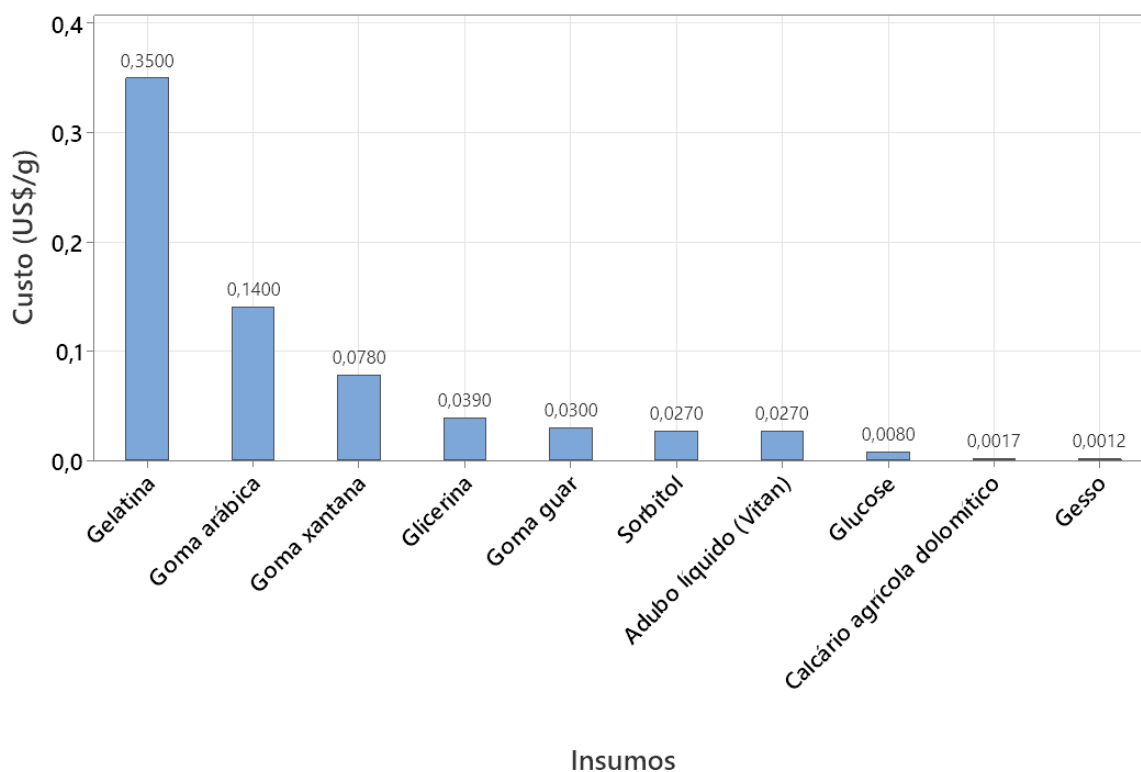
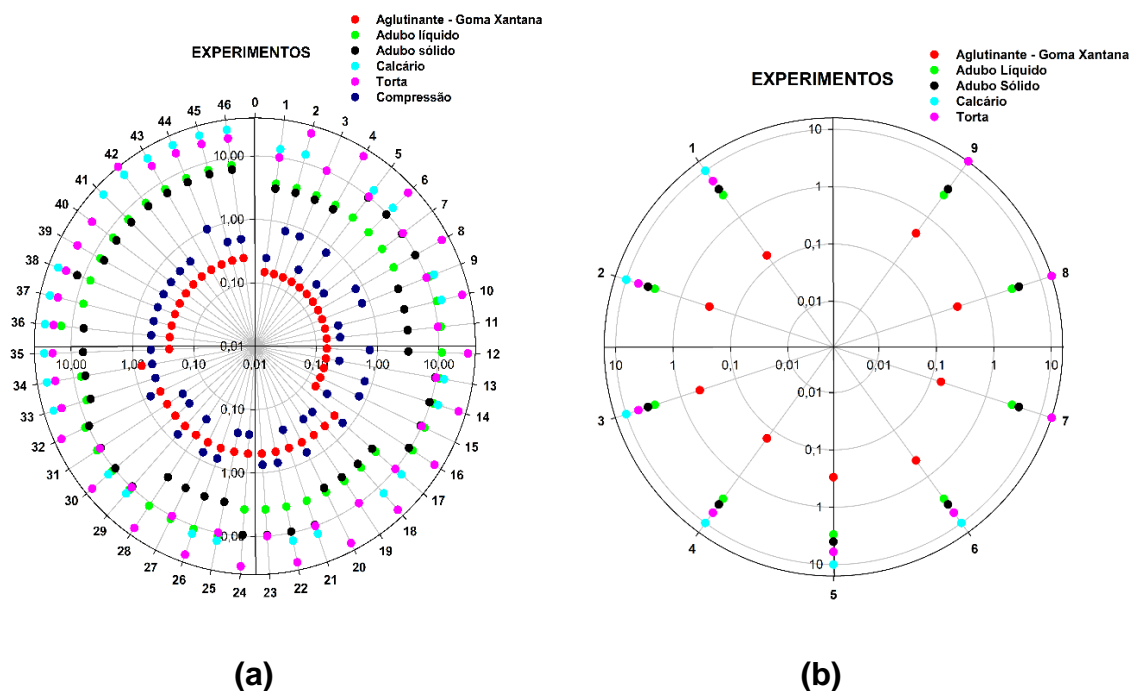


Figura 4. Custo dos insumos (US\$/g).

4.2. Briquetagem com goma xantana

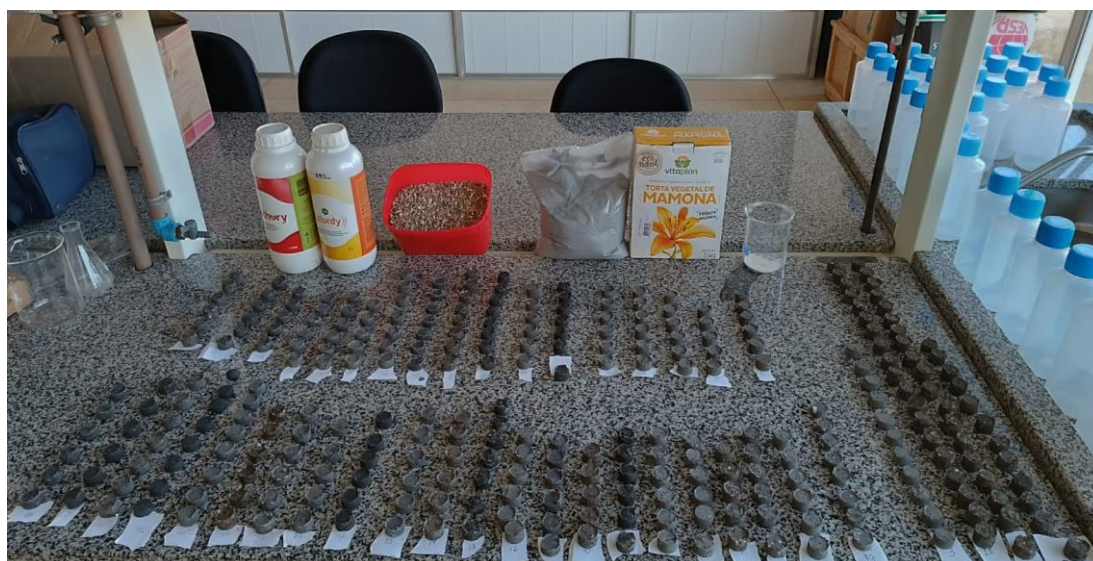
Após a realização dos pré-testes foi escolhido como aglutinante a goma xantana por apresentar a melhor otimização numérica tanto quanto ao número de quedas a 1,2 m e dissolução em água a 25 °C além de menor custo por grama. A partir daí foi conduzida a próxima fase em duas etapas (Figura 5) buscando-se na primeira, composta por 46 experimentos (Figura 5a), estudar 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.

Figura 5. Espaço Amostral das etapas (a) 1 e (b) 2. Fonte: Própria.



A segunda etapa foi composta por 9 experimentos (Figura 5b), sendo uma otimização da primeira etapa, utilizando-se apenas os parâmetros significativos para obtenção de 3 fertilizantes organominerais. Ambas as etapas foram constituídas por 6 repetições para cada experimento com coeficiente de variação limitado a 10% (Figura 6).

Figura 6. Briquetes produzidos nas etapas (a) 1 e (b) 2. Fonte: Própria.



(a)



(b)

O planejamento de misturas da etapa 1 (Tabela 12) foi organizado num Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) com seis parâmetros, sendo quatro 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 seis parâmetros cinco níveis. Todo o planejamento e análise estatística foi realizada utilizando-se o software Statistics 10.0.

Tabela 12. 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 Ind. e Comércio Ltda
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 Ind. E Com. Ltda
Compressão (ton)	0 (-2)	0,25 (-1)	0,5 (0)	0,75 (1)	1 (+2)	

Fonte: Própria

Para determinação dos níveis da massa de goma xantana e volume de adubo líquido foi utilizado como referência os resultados obtidos nos pré-testes. Para o

critério dosagem de calcário e fertilizante foi verificado a necessidade química do solo (Embrapa, 2017) utilizado e a necessidade da cultura do milho para a silagem (Embrapa, 2022). 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 análise composta foi retirada uma análise simples e enviada para o Laboratório de Análise 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 (2017) obtendo-se os resultados apresentados na tabela 13. Com base na análise físico-química do solo e a recomendação de Coelho *et al.* 2020 para a silagem do milho foram calculadas as seguintes recomendações: necessidade de calagem em 3,0 ton.ha⁻¹ de calcário dolomítico, adubação de plantio: 350 kg. ha⁻¹ do formulado NPK 08-28-16 com adição de 0,2% de B e 0,2% Zn e em cobertura: 350 kg.ha⁻¹ do formulado 28-08-18.

Tabela 13. Atributos físico-químicos do solo utilizado.

Atributo	Unidade	Valor	Atributo	Unidade	Valor
pH água		5,30	P	mg/dm ³	0,79
P-rem	mg/L	4,50	K	mg/dm ³	38,75
Mat. Org.	dag/kg	1,64	Ca	mg/dm ³	1,35
H+Al	cmol/dm ³	2,54	Mg	mg/dm ³	0,52
SB	cmol/dm ³	1,97	Al	mg/dm ³	0,05
CTC(t)	cmol/dm ³	2,02	B	mg/dm ³	0,21
CTC(T)	cmol/dm ³	4,50	Cu	mg/dm ³	1,77
V	%	43,72	Fe	mg/dm ³	49,06
m	%	2,48	Mn	mg/dm ³	5,46
Areia	g/kg	182	Zn	mg/dm ³	0,66
Silte	g/kg	194	S	mg/dm ³	12,42
Argila	g/kg	624			
COT	dag/kg	0,95			

Fonte: Própria.

As dosagens de calcário e de fertilizantes recomendadas foram calculadas com base na análise físico-química do solo e a recomendação da Embrapa (2017) considerando um plantel de 60000 plantas de milho.

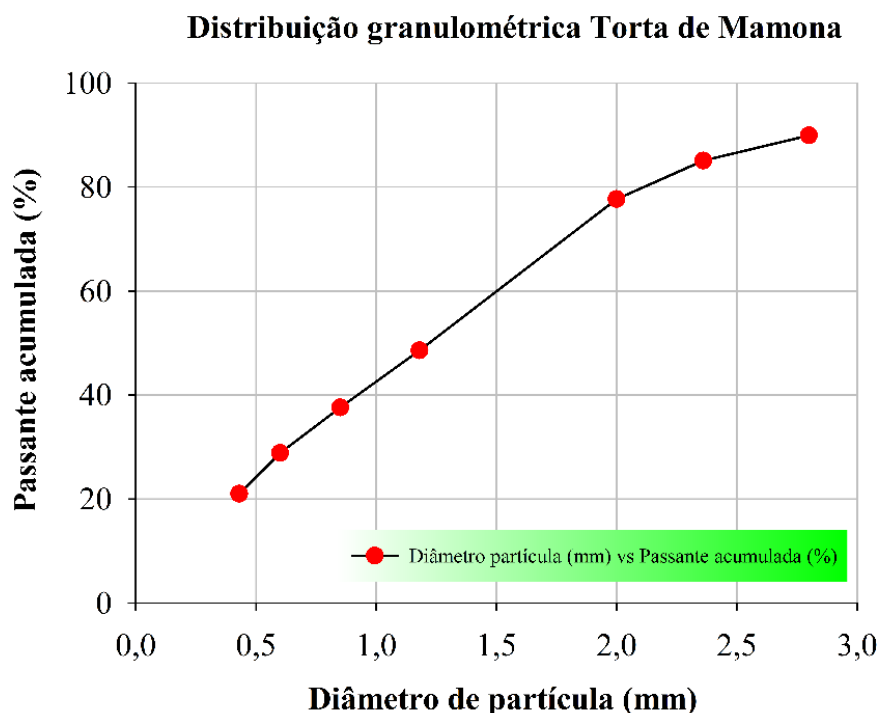
Uma vez determinada a recomendação agronômica de calcário e fertilizante, os níveis experimentais foram determinados em 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da dosagem calculada. Quanto a fonte de matéria orgânica segundo Embrapa (2015) o mínimo de palhada na área deve ser de 2,4 toneladas por hectare para um sistema de plantio direto. Sendo assim, considerando 60000 plantas por hectare, o maior nível na variável matéria orgânica (torta de mamona) foi de 40 g por planta sendo os outros níveis 0,10,20,30 e 40 gramas. Como fonte de matéria orgânica optou-se pela torta de mamona também adquirida comercialmente pela marca Vitaplan por ser de fácil aquisição, relativamente barata e de fácil manuseio, sendo caracterizada quimicamente em laboratório encontrando os resultados demonstrados conforme Tabela 14 e Figura 7.

Tabela 14. Caracterização química da torta de mamona (Vitaplan, Lote: 032 Validade: 04/2025)

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Fe	Mat.Org	Cinzas	Umidade
%									
1,58	1,54	1,17	0,77	0,43	0,45	0,23	86,67	13,33	8,11
Mn	Cu	Zn	B	Na	ph	C/N			
ppm						-	-		
100	31	134	158	225	5,8	31/1			

Fonte: Laboratório de Química e Física Terrena Agronegócios

Figura 7. Distribuição granulométrica da torta de mamona



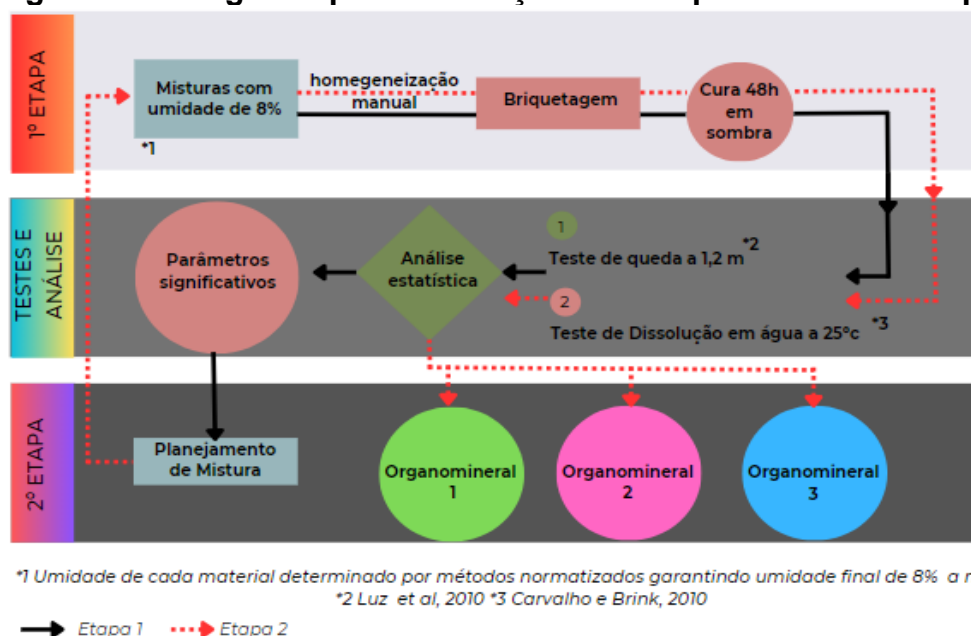
Além da caracterização química foi realizada uma análise granulométrica da mesma, uma vez que, como o material seria prensado em partículas muito grandes poderiam causar danos aos briquetes. Sendo assim, para que essa variável não afetasse os briquetes e conseqüentemente os resultados, o material utilizado foi peneirado e utilizado apenas as partículas menores que 2 mm de diâmetro as quais representavam 77,69% de todo o peso da torta de mamona, mudando apenas a granulometria sem nenhuma alteração química do mesmo.

Quanto aos níveis de compressão foi utilizado como o maior nível 1/3 do aplicado por Barros (2016) devido a necessidade de dissolução do briquete, ou seja, foi aplicado uma tonelada numa área de 5 cm² (molde utilizado) totalizando 200 kgf/cm² ou seja, aproximadamente 20.000 kPa sendo todos os níveis 0, 5.000, 10.000, 15.000 e 20.000KPa.

Os briquetes foram produzidos conforme fluxograma apresentado na Figura 8 iniciando-se com a mistura nas devidas proporções para cada um dos 46 experimentos sendo misturados por 10 minutos (completa homogeneização) garantindo umidade de conformação limitada a 8%, sendo a mesma controlada pelas metodologias conforme pré-testes.

A conformação do briquete foi realizado conforme descrito por Barros (2016). Posteriormente após a conformação na briquetadeira 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 (Anexo 1 e Anexo 2), nos tempos de 3 s, 15 s, 30 s, 1 min, 2 min, 5 min, 10 min, 20 min, 30 min, 40 min, 1 h, 2 h, 4 h, 6 h, 8 h, 10 h, 12 h e ao final do teste, conforme proposto por Carvalho & Brinck (2010). O teste de queda realizado como preconizado por Luz *et al.* (2010). Para ser determinado como fertilizante de liberação lenta o briquete deveria suportar, no mínimo, 75 quedas e 480 minutos imerso em água a 25 °C.

Figura 8. Fluxograma para fabricação dos briquetes. Fonte: Própria.



Na etapa 2 foram escolhidas 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, levando a produção de 3 tipos de adubos organominerais. Sendo assim, foram produzidos 3 fertilizantes para uso agrícola que seriam T1-T3, T4-T6 e T7-T9 (Tabela 15) todas com 50% das dosagens 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 esses aspectos, o experimento foi confeccionado conforme planejamento de mistura apresentado (Tabela 15) variando apenas a goma xantana na produção de 6 briquetes para cada fertilizante organomineral.

Tabela 15. Matriz experimental padronização dos corretivos e fertilizantes.

Trat.	Xantana (g)	Calcário (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	-

Fonte: Própria

A produção do briquete e os testes de caracterização 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 imersão em água a 25 °C.

4.3. Testes agronômicos em vasos

Com base nos resultados de resistência a queda a 1,2 m e dissolução em água a 25 °C apresentados na etapa anterior foram escolhidos os tratamentos T2, T6 e T7 (Tabela 15).

Tabela 16. Planejamento de mistura.

Tratamento	Tipo do tratamento	Goma xantana (g)	Calcário (g)	Adubo líquido (g)	Adubo sólido (g)	Torta de mamona (g)	Gesso (g)	Quantidade de briquetes	Dosagem (%)
T1	1	0,300	10	3,0	4	6	-	4	50
T2	1	0,450	15	4,5	6	9	-	6	75
T3	1	0,600	20	6,0	8	12	-	8	100
T4	1	0,450	10	3,0	4	6	2	4	50
T5	1	0,675	15	4,5	6	9	2	6	75
T6	1	0,900	20	6,0	8	12	2	8	100
T7	1	0,150	-	3,0	4	16	-	4	50
T8	1	0,300	-	4,5	6	24	-	6	75
T9	1	0,450	-	6,0	8	32	-	8	100
T10	2	-	-	3,0	4	-	-	-	-
T11	2	-	-	4,5	6	-	-	-	-
T12	2	-	-	6,0	8	-	-	-	-

Fonte: Própria

Onde o tipo de tratamento 1 é o tratamento fertilizado com briquetes e 2 refere-se à adubação convencional com calcário no perfil.

Foram confeccionados 9 tratamentos (Figura 9), mantendo-se a composição da fase anterior, de acordo com o planejamento de mistura apresentado (Tabela 16). Para comparação foi acrescido apenas tratamentos convencionais T10-T12 para construção de relação entre eles e os fertilizantes briquetados. Observando-se que dosagem total recomendada foi de 3,0 ton. ha⁻¹ de calcário dolomítico, 350 kg. ha⁻¹ de 8-28-16 +0,2% Zn + 0,2% B e 350 kg. ha⁻¹ de 28-0-18 em cobertura numa população de 60000 plantas ha⁻¹.

Figura 9. Tratamentos de briquetes fertilizados

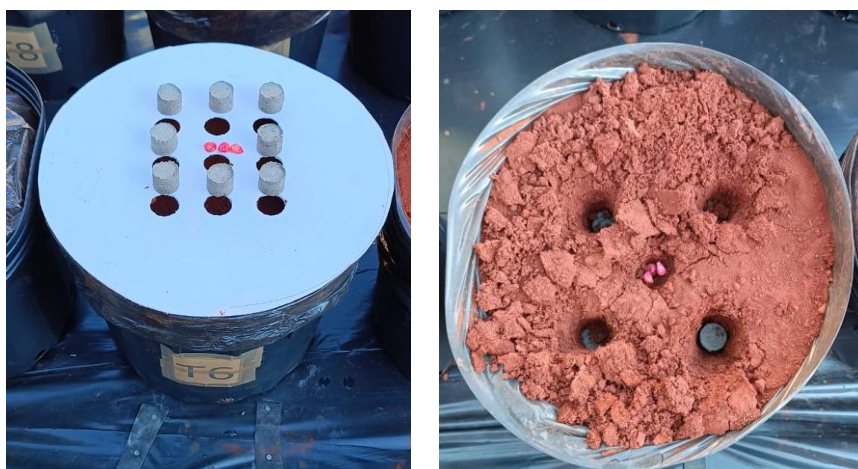


Foi utilizado um delineamento em bloco casualizado (DBC) com quatro tipos de fertilizantes (três em briquetes e um fertilizante convencional), três dosagens de calcário e fertilizante (50%, 75% e 100% da dosagem recomendada) em seis repetições totalizando 72 vasos. O teste foi implantado no dia 17/10/2022 e conduzido até o dia 17/11/2022 (30 DAP).

As parcelas experimentais foram montadas em vasos de polietileno com volume de 11 L com 10 kg de massa seca de solo. Acomodados sobre uma bancada de madeira montada a 60 cm do solo sem uso de sombreadores (Figura 10), recebendo as condições climáticas do ambiente, inclusive as chuvas da região no período do experimento.

Figura 10. Bancada experimental

Os tratamentos T7, T8, T9, T10, T11 e T12 foram incubados (Souza *et al.*, 2014) com 30 dias de antecedência uma vez que a dosagem recomendada de calcário foi aplicada no perfil do solo e não via briquete. Todos os 72 vasos foram elevados a capacidade de campo (Embrapa, 2013) seguindo posteriormente o plantio de 3 sementes de milho da cultivar BM 880 PRO3 da empresa Biomatrix com os briquetes dispostos em torno da semente ou no caso dos convencionais aplicados conforme Embrapa (2020) (Figura 11).

Figura 11. Implantação do experimento em vasos. Fonte: Própria.

Para a irrigação (Bergamashi & Matzenauer, 2014) foram recolhidos diariamente as variáveis climáticas: precipitação (mm.dia^{-1}), temperaturas máximas e mínimas ($^{\circ}\text{C}$), umidade máxima e mínima relativa do ar, radiação solar, precipitação pluviométrica diária e velocidade do vento monitoradas e registradas, durante todo o período de condução dos experimentos, na Estação Meteorológica Alto Paraíso.

A partir destes dados foram calculados a evapotranspiração de referência real para a cultura do milho pelo método de Pennam Montheith (Howell & Evett, 2004), o desbaste foi realizado aos 15 dias após o plantio (DAP), permanecendo apenas uma plântula por vaso. Nos tratamentos T10, T11 e T12 as adubações de cobertura foram parceladas em duas vezes sendo realizadas aos 15 dias após a emergência- DAE (V3 e V4) e a segunda parcela que seria 27 DAE não chegou a ocorrer devido a morte dos tratamentos. Essa adubação foi realizada a lanço sobre o solo, e não foi coberto simulando a prática do dia a dia no campo onde o adubo é lançado sobre as plantas e o solo. Durante o experimento foi calculado o índice de velocidade de emergência (IVE) do 5^o ao 13^o dia, análise de diâmetro de caule, tamanho de planta e número de folhas.

Ao final do experimento (30 DAP), foram avaliadas a parte aérea e raízes das plantas. Quanto a parte aérea, foram medidas as alturas das plantas por meio de uma régua graduada, medição do diâmetro do colmo utilizando-se de um paquímetro digital e o número de folhas considerando apenas aquelas completamente expandidas. Posteriormente após realizar as medições, as partes aéreas foram colocadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa com circulação de ar forçada durante 72 horas, a 65°C , para obtenção da matéria seca. Após o corte da parte aérea, o sistema radicular foi cuidadosamente lavado em água corrente limitada a pressão de 1 mca, sendo posteriormente medidos com régua graduada e acondicionados em sacos de papel para irem para estufa por 72 h a 65°C para obtenção da matéria seca.

4.4. Testes agronômicos em campo

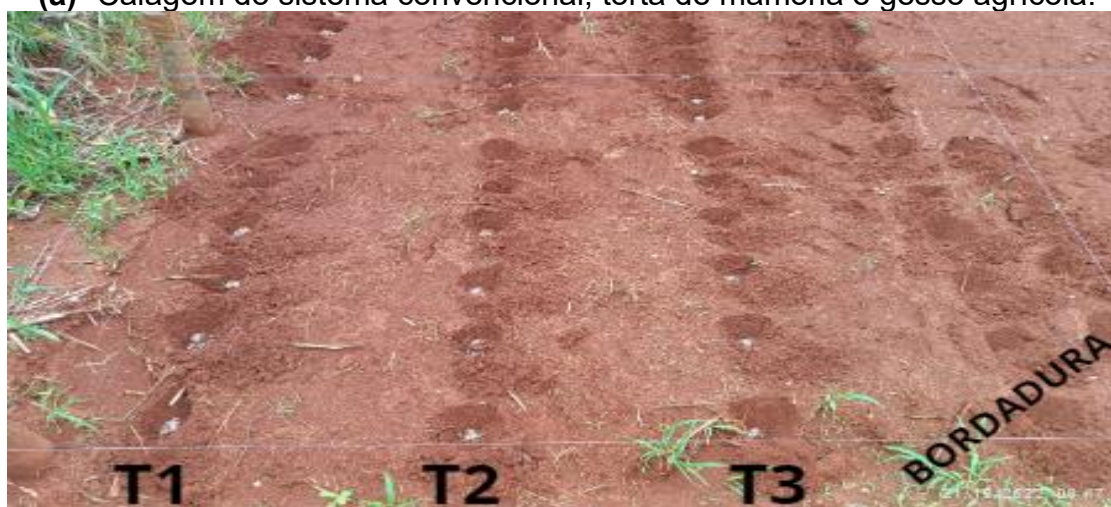
O experimento foi realizado na cidade de Patos de Minas-MG, Brasil (Figura 12). Nessa fase houve a necessidade de nova análise físico-química do solo já que agora seria montado em campo e num solo diferente das fases anteriores. Para a

amostragem do solo montou-se um quadrante de 10 m x 10 m de onde foram coletadas 3 amostras compostas nas diagonais a uma profundidade de 0,2 m.

Figura 12. Implantação dos testes agronômicos em campo



(a)- Calagem do sistema convencional, torta de mamona e gesso agrícola.



(b) Disposição dos adubos- Convencional



(c) Disposição Briquetes- Mamona



(d) Disposição Briquetes - Gesso

Para cada análise composta foi retirada uma análise simples e enviada para o Laboratório de Análise Química do Solo. As análises físico-químicas foram realizadas segundo Embrapa (2009 e 2017) para cálcio, magnésio, potássio, fósforo, nitrogênio, zinco e boro, além da análise granulométrica do mesmo. O solo utilizado no experimento apresentava os atributos químicos e físicos conforme Tabela 17.

Com base na análise físico-química do solo e a recomendação de (Coelho *et al.*, 2020) para a silagem do milho foram calculadas as seguintes recomendações: necessidade de calagem em $3,0 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ de calcário dolomítico, aplicação de $1,5 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ de gesso agrícola, adubação de plantio: $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ do formulado NPK 07-34-11 com adição de 0,2% de B e 0,2% Zn e em cobertura de $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ do formulado 32-00-15.

Tabela 17. Atributos físico-químicos do solo.

Atributo	Unidade	Valor	Atributo	Unidade	Valor
pH água		5,55	P	mg/dm ³	6,22
P-rem	mg/L	11,17	K	mg/dm ³	94,34
Mat. Org.	dag/kg	2,11	Ca	mg/dm ³	2,02
H+Al	cmol/dm ³	2,74	Mg	mg/dm ³	0,39
SB	cmol/dm ³	2,65	Al	mg/dm ³	0,03
CTC(t)	cmol/dm ³	2,68	B	mg/dm ³	0,06
CTC(T)	cmol/dm ³	5,39	Cu	mg/dm ³	8,51
V	%	49,17	Fe	mg/dm ³	72,24
m	%	1,12	Mn	mg/dm ³	72,82
Areia	g/kg	358,00	Zn	mg/dm ³	0,72
Silte	g/kg	348,00	S	mg/dm ³	6,90
Argila	g/kg	294,00			
COT	dag/kg	1,22			

Fonte: Laboratório Terrena Agronegócios.

Considerando as recomendações de calagem e adubação num plantel de 60.000 plantas, nos tratamentos T1, T2, T3, T4, T5 e T6 foram aplicados 50 g de calcário e 25 g de gesso por planta e incubados em área total ao solo com 30 dias de antecedência, uma vez que a dosagem recomendada de calcário foi aplicada no perfil do solo e não via briquete. Já para os tratamentos T7, T8 e T9 a dosagem de calcário e gesso por planta foram reduzidas pela metade (vide Tabela 7) já que foi demonstrado na etapa de produção de briquetes ser tecnicamente inviável dosagens acima de 25 g de calcário devido à grande ocupação dos briquetes podendo promover problemas ao crescimento da planta.

A fabricação dos briquetes foram realizados conforme Barros (2016) utilizando o planejamento de mistura apresentado na Tabela 18.

Tabela 18. Planejamento de mistura para produção dos briquetes.

Tratamento	Tipo do tratamento	Calcário (g)	Goma xantana (g)	Gesso (g)	Torta de mamona (g)	Adubo líquido (g)	Adubo sólido (ml)	Qtde de briquetes	Dosagem de calcário e gesso (%)	Dosagem de fertilizante (%)
T1	Convencional	-	0,000	-	0	-	10,0	-	100	100
T2	Convencional	-	0,000	-	0	-	7,5	-	100	75
T3	Convencional	-	0,000	-	0	-	5,0	-	100	50
T4	Briquete	-	0,300	-	32	6,00	10,0	8	100	100
T5	Briquete	-	0,225	-	24	4,50	7,5	6	100	75
T6	Briquete	-	0,150	-	16	3,00	5,0	4	100	50
T7	Briquete	25,00	0,300	12,50	12	9,00	10,0	8	50	100
T8	Briquete	18,75	0,225	9,50	9	6,75	7,5	6	37,5	75
T9	Briquete	12,50	0,150	6,25	6	4,50	5,0	4	25	50

Fonte: Própria.

Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três tipos de fertilizantes (dois em briquetes e um fertilizante convencional), três dosagens de calcário e gesso além de três dosagens de fertilizantes em seis repetições totalizando 54 plantas, lembrando que não se trata de um fatorial, porém de tratamentos conjuntos. O experimento foi implantado no dia 21/12/2022 e conduzido até o dia 20/03/2023 (90 DAP) (Figura 12). Antes da implantação o solo foi elevado a capacidade de campo (Bernardo *et al.*, 2019) seguindo posteriormente o plantio de 3 sementes de milho da cultivar BM 880 PRO3 da empresa Biomatrix com os briquetes dispostos ao lado e abaixo da semente ou no caso dos convencionais aplicados conforme Embrapa, 2015.

Para a irrigação foram recolhidos diariamente as variáveis climáticas: precipitação (mm.dia^{-1}), temperaturas máximas e mínimas ($^{\circ}\text{C}$), umidade máxima e mínima relativa do ar, radiação solar, precipitação pluviométrica diária e velocidade do vento monitoradas e registradas, durante todo o período de condução dos experimentos, na Estação Meteorológica Alto Paraíso. A partir desses dados, foram calculados a evapotranspiração de referência real para a cultura do milho pelo método de Pennam Montheith (Howell & Evett, 2004). O desbaste foi realizado aos 15 dias após o plantio (DAP), permanecendo apenas uma plântula por unidade experimental. Nos tratamentos T1, T2 e T3 as adubações de cobertura foram parceladas em 2 vezes sendo realizadas aos 15 dias após a emergência- DAE (V3 e V4) e a segunda parcela aos 27 DAE (V5 e V6). Esta adubação de cobertura foi realizada conforme preconizada pela Embrapa 2015.

Durante o experimento foi medido diâmetro de caule, tamanho de planta e número de folhas (Cruz *et al.*, 2011) uma vez por semana após 15 DAE. Ao final do experimento (90 DAP), foram avaliadas a parte aérea. Quanto a parte aérea, foram medidas as alturas das plantas por meio de uma régua graduada, medição do diâmetro do colmo, utilizando-se de um paquímetro digital e o número de folhas considerando apenas aquelas completamente expandidas e peso da planta úmida. Posteriormente, após realizar as medições, as partes aéreas foram trituradas em equipamento forrageiro retirando-se 3 amostras para cada tratamento e colocadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa com circulação de ar forçada durante 72 horas, a 65°C , para obtenção da matéria seca. A análise das espigas foram realizadas conforme Nunes *et al.* (2017).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

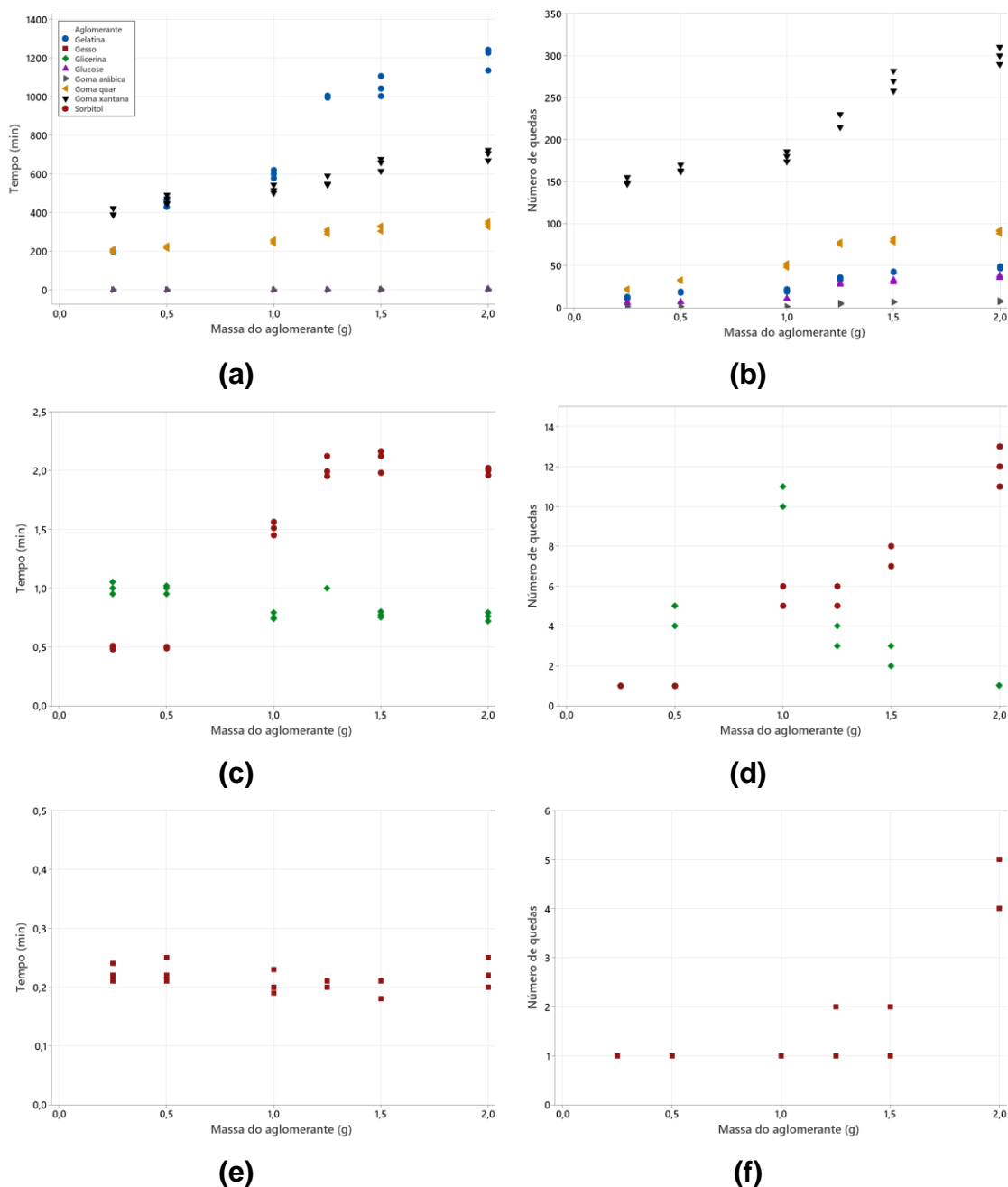
Os resultados obtidos para os testes de dissolução em água e queda são apresentados na figura 13. Nota-se que tanto os aglomerantes farmacêuticos estudados quanto o gesso de construção, apresentaram resultados inferiores para a dissolução em água e para a resistência à queda (Adrien *et al.*, 2016; Astm, 2015). O sorbitol suportou no máximo 11 quedas e aproximadamente dois minutos em água à 25 °C até sua diluição. Acredita-se que estes resultados sejam devidos ao fato do sorbitol ser um álcool de açúcar muito estável e quimicamente não reativo, sendo necessária alta compressão para promover a aderência de partículas finas, como é o caso da produção de comprimidos farmacêuticos. Desta forma, a aplicação de uma carga conformativa, como no presente trabalho, seria insuficiente para promover a aglomeração dos finos de calcário utilizando o sorbitol.

A glicerina apresentou valores inferiores ao sorbitol, o que pode estar ligado ao fato, dessa, ser composta por glicerol, o que lhe confere grande solubilidade em água e natureza higroscópica (Abd-Elsamee *et al.*, 2010; Dozier *et al.*, 2008). Os piores resultados foram obtidos para o gesso de construção, um aglomerante inorgânico e quimicamente inativo.

O gesso utilizado nos experimentos era hemi-hidrato do tipo β , ou gesso comum, diferindo-se do gesso tipo β pelo método de calcinação e de produção, que pode ser por via seca ou úmida. Acredita-se que a adoção do gesso tipo β poderia produzir briquetes com resistências diferentes, mas não se espera valores superiores aos obtidos para os aglomerantes farmacêuticos.

Os aglomerantes alimentícios testados apresentaram resultados superiores aos disponíveis na literatura (Barros, 2016; Marinho, 2019). Nesses trabalhos, os briquetes de calcário suportaram um limite máximo de 20 quedas e um tempo de dissolução máximo em água a 25 °C de 4,5 minutos, classificando-os como de baixa resistência, não havendo ganho significativo quanto à liberação lenta dos nutrientes contidos no calcário (Machado, 2012). A exceção foi para a goma arábica e a glucose, que apresentaram valores notoriamente inferiores aos demais aglomerantes alimentícios testados.

Figura 13. Resultados obtidos para o tempo de diluição dos briquetes em água e número de quedas para os aglomerantes alimentícios (a e b), farmacêuticos (c e d) e inorgânico (e e f). Fonte: Própria.



Os resultados obtidos com a goma xantana para o teste de queda foram superiores a todos os aglomerantes testados, chegando a suportar 310 quedas (para uma massa de aglomerante adicionada de 2,0 g). 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 à goma xantana alta compatibilidade com produtos de outra natureza,

tais como ácidos, bases, sais, solventes, enzimas, surfactantes e conservantes. (Demirkesen *et al.*, 2010; Kiosseoglou *et al.*, 2003).

O melhor resultado para a dissolução em água foi obtido para a gelatina, que suportou 20 horas até sua completa dissolução em água a 25 °C. A gelatina, assim como todas as proteínas, é composta por L-aminoácidos unidos por ligações peptídicas. A gelatina é formada inicialmente por cadeias primárias, com aproximadamente 1.050 aminoácidos, em seu processo de consolidação. Na sequência são formadas três cadeias secundárias em forma de espiral (tríplice hélice) (Abdelhedi *et al.*, 2019). A superposição de vários helicoides triplos formam as fibras de colágeno sendo posteriormente estabilizadas por meio de ligações cruzadas, que formam uma estrutura de rede tridimensional. É justamente esta estrutura a responsável pela insolubilidade do colágeno, que através do aquecimento entre 30-35 °C sofre uma forte hidrólise parcial, sendo transformado em colágeno solúvel, resultando na gelatina ou no colágeno hidrolisado (Huang *et al.*, 2018). Quando ocorre o resfriamento, o colágeno volta a se tornar insolúvel. Dessa forma, acredita-se que a explicação para o longo tempo de dissolução em água da gelatina seja devido a insolubilidade do colágeno em temperatura ambiente. Contudo, as suas fracas ligações peptídicas podem ser responsáveis pela baixa resistência à queda (Gmia, 2012).

A glucose apresentou número de quedas ligeiramente inferior à gelatina, porém baixa dissolução (3,5 minutos em média). Estes resultados podem estar ligados ao fato de a glucose possuir grupos polialcoóis e aldeídos, apresentando alta reatividade principalmente com a água (Lima *et al.*, 2014). Desta forma, a glucose apresenta excelente ligação química ao calcário, porém alta solubilidade em água já que são dois grupos altamente ligantes às moléculas de água. Contudo, os resultados no teste de queda foram relativamente baixos, suportando um máximo de 38 quedas.

A goma arábica apresentou os piores resultados dentre os aglomerantes alimentícios, mas superior aos aglomerantes farmacêuticos e ao gesso de construção civil testados. A goma arábica trata-se de um composto complexo que possui caráter ligeiramente ácido. A goma arábica é composta por glicoproteínas, polissacarídeos e os seus sais associados de cálcio, magnésio e potássio (Lehninger & Cox, 2014), sendo seu principal composto o ácido arábico (ou arabina), um polissacarídeo ramificado. Esse composto é formado por uma D-galactose (1,3) ligada a (1,6) L-arabinose, L-rhamnose e ácidos D-glucorônicos. As proteínas formadas são

conhecidas por arabinogalactanos, ricas em hidroxiprolina (Gupta *et al.* 2002). Essas características conferem à goma arábica um caráter tanto hidrofílico quanto hidrofóbico. Esse caráter hidrofóbico vem provavelmente das cadeias de polipeptídios hidrofóbicos, sendo absorvidos e prendendo as moléculas de água na sua superfície. Já os blocos de carboidratos provocam a inibição na floculação e coalescência pelo fenômeno da repulsão eletrostática e estérica (Gabas & Cavalcanti, 2003; Rodrigues *et al.*, 2015).

Finalmente, a goma guar mostrou-se um interessante aglomerante quanto à dissolução em água e o teste de queda. Contudo, os resultados obtidos foram inferiores à goma xantana. Acredita-se que tais resultados estejam ligados as características espessantes, estabilizantes e de alta viscosidade da goma guar quando hidratada com água em temperatura ambiente (Mudgil *et al.*, 2014), como o ocorrido no presente trabalho.

Desta forma, é possível que a goma guar não tenha sido ativada, ou tenha sido apenas parcialmente ativada, não produzindo os resultados desejados no presente trabalho. Por se tratar de uma galactomana, uma das principais características da goma guar é a formação de dispersões altamente viscosas quando hidratada com água fria, gerando propriedades pseudoplásticas não tixotrópicas compatíveis com um fluido não-newtoniano, o que leva ao aumento exponencial da viscosidade com o aumento da concentração da goma em água fria (Alam *et al.*, 2000; Tuinier *et al.*, 2000).

Para a análise de variância dos resultados obtidos foi adotado um modelo de quinto grau para modelar os resultados das duas respostas (dissolução em água e resistência à queda). As Tabelas 19 e 20 apresentam os resultados para os testes de dissolução dos briquetes em água à 25 °C e resistência à queda, respectivamente. Termos não significativos foram omitidos. É possível notar que para ambos os testes a massa e o tipo do aglomerante interferiram nos resultados obtidos, bem como as integrações entre os parâmetros de mais alto grau.

Tabela 19. Análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos para o tempo de dissolução dos briquetes em água à 25 °C.

Fonte	F-valor	p-valor
Modelo	396,13	< 0,0001
A - Massa do aglomerante	646,25	< 0,0001
B - Aglomerante	1855,89	< 0,0001
AB	300,72	< 0,0001
A ²	6,39	0,013
A ² B	5,47	< 0,0001
A ⁴	7,85	0,0061
A ⁴ B	3,26	0,0037
A ⁵	11,40	0,001

Fonte: Própria

Tabela 20. Análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos para o teste de queda à 1,20m.

Fonte	F-valor	p-valor
Modelo	1577,14	< 0,0001
A - Massa de aglomerante	2314,46	< 0,0001
B - Aglomerante	8116,27	< 0,0001
AB	504,83	< 0,0001
A ² B	15,80	< 0,0001
A ³	45,65	< 0,0001
A ³ B	14,93	< 0,0001
A ⁴	29,98	< 0,0001
A ⁴ B	16,85	< 0,0001
A ⁵	11,49	0,001

Fonte: Própria

Os resultados da otimização numérica podem ser vistos na tabela 21, para desejabilidades acima de 0,25. É possível notar que o melhor resultado encontrado é para a goma xantana, com massa de aglomerante a ser usada de 2,0 g, sendo esperado que os briquetes suportem mais de 300 quedas e um tempo de dissolução superior a 700 minutos.

Tabela 21. Resultados da otimização numérica.

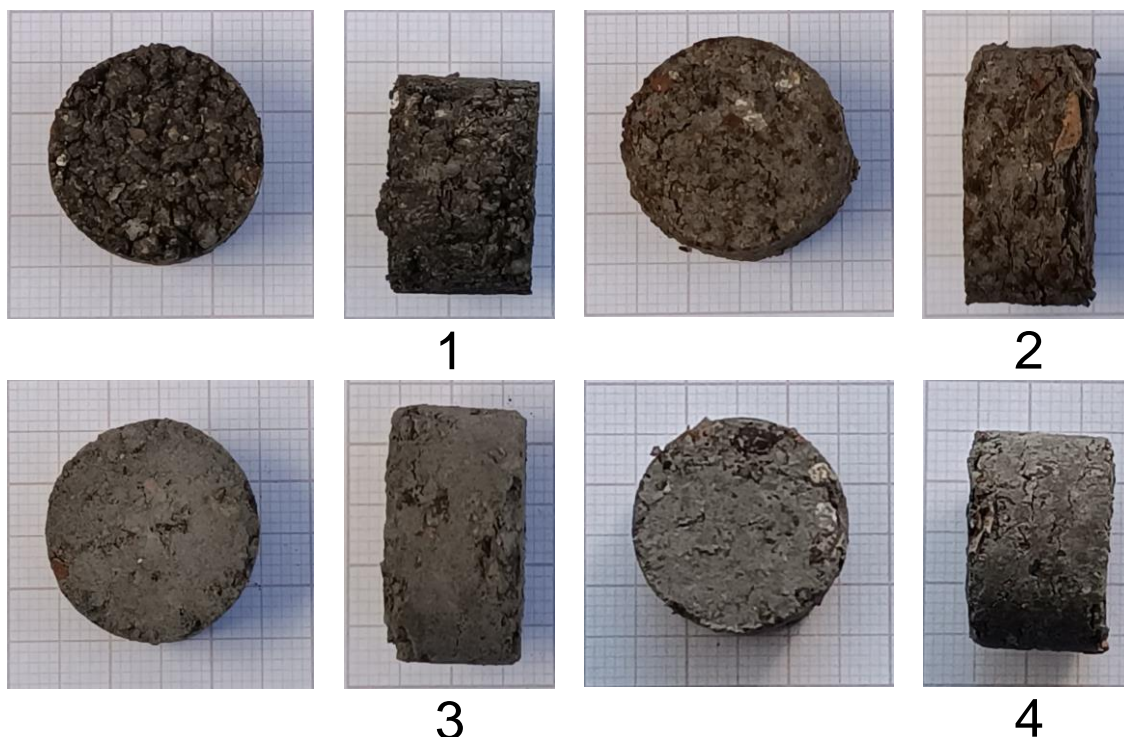
Número da solução	Tipo do aglomerante	Aglomerante (g)	Dissolução (min)	Número de quedas	Desejabilidade
1	G. xantana	2,0	700,5	300	0,739
2	G. xantana	0,5	475,4	165	0,451
3	Gelatina	2,0	1196,8	48	0,383
4	Goma guar	2,0	340,4	90	0,281
5	Goma guar	1,5	318,2	82	0,259

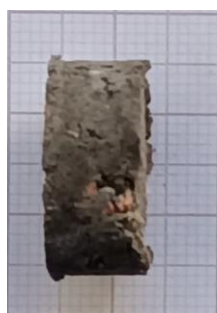
Fonte: Própria

5.1. Briquetagem com goma xantana

A segunda etapa retornou dos 46 experimentos (Figura 14) médias quanto a dissolução em água a 25 °C e queda a 1,2 m conforme Tabela 11. Estudos realizados por Barros (2016) e Marinho (2019) demonstraram uma capacidade máxima de 20 quedas e dissolução máxima em água a 25 °C de 4,5 minutos sendo assim comparativamente as médias para as variáveis independentes encontradas não apresentaram diferença quanto à queda, porém considerável ganho quanto a dissolução.

Figura14. 46 experimentos fertilizados





15



16



17



18



19



20



21



22



23



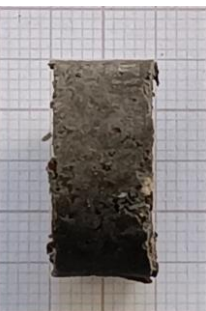
24



25



26



27



28



29



30



31



32



33



34



35



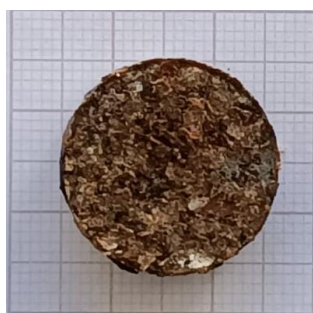
36



37



38



39



40



41



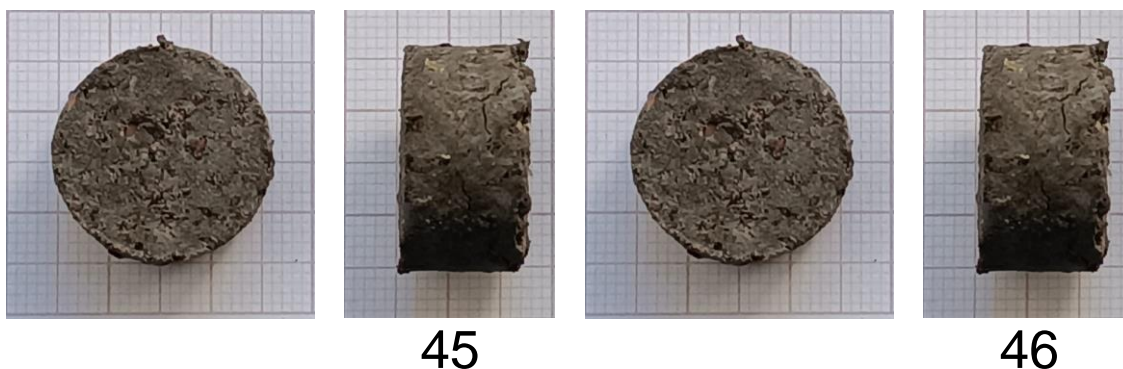
42



43



44



De qualquer forma deve-se analisar que se trata da média de 46 experimentos tendo alguns deles superado inúmeras vezes a média matemática (Tabela 22).

Tabela 22. Média das variáveis resposta a etapa 1.

Variável Resposta	Média e desvio
Dissolução	304,22 ± 5%
Queda	19,77 ± 10%

*Média da triplicada ± desvio padrão; **Fonte:** Própria

A Tabela 23 apresenta os tratamentos que apresentaram as melhores respostas para ambas as variáveis dependentes, em todos experimentos, com exceção do 19, houve uma correlação entre a maior quantidade de calcário e a diminuição considerável da resposta para ambas as variáveis estudadas. O que corrobora com o fato de que o melhor experimento em conjunto para queda a 1,2 m e dissolução em água a 25 °C tenha ocorrido com o 39, sem a presença de calcário. Foi realizada a análise estatística tanto para dissolução em água a 25 °C quando a queda a 1,2 m para os 46 experimentos, para verificação da normalidade dos dados o que foi positiva para ambas tanto separadas quanto em conjunto demonstrando que os mesmos possuem uma distribuição normal.

Tabela 23. Tratamentos mais expressivos em termos de variáveis resposta para o DCCR.

Testes	Variáveis independentes						Variáveis dependentes	
	Aglut. (g)	Adubo líquido (ml)	Adubo sólido (g)	Calcário (g)	Torta mamona (g)	Comp. (t)	Imersão (h)	Quedas
9	0,15	11,25	3,20	13,50	10,00	0,75	24,00	35,00
19	0,50	3,80	3,20	42,50	10,00	0,25	30,72	59,33
29	0,50	11,25	9,60	13,50	10,00	0,75	24,00	77,00
39	0,25	7,50	6,40	0,00	20,00	0,50	41,00	91,33

Fonte: Própria

Foi verificada a diferença estatística entre os experimentos para a variável dissolução em água a 25 °C, demonstrando que se diferem ao nível de 5% de significância entre si. Foi aplicado o teste de Scott Knott (Tabela 24) uma vez que ele resolve o problema de ambiguidade entre os tratamentos intermediários. O resultado foi o enquadramento dos 46 experimentos em 27 grupos diferentes entre si. Inferindo-se que o tempo de dissolução do briquete esteja ligado a liberação lenta dos fertilizantes, chamando atenção que o experimento 39 além de se diferir estatisticamente de todos, demonstra enorme diferença matemática atingindo 41 horas.

Tabela 24. Teste de Scott Knott para os 46 experimentos variável dissolução em água a 25 °C.

Tratamento	Dissolução (minutos)	Dissolução (horas)
40	1.43 a1	0,0238 a1
12	1.52 a1	0,0253 a1
33	1.84 a2	0,0307 a2
4	2.00 a3	0,0333 a3
16	2.06 a3	0,0343 a3
2	2.06 a3	0,0343 a3
3	2.06 a3	0,0343 a3
18	2.11 a3	0,0352 a3
22	4.12 a4	0,0687 a4
8	4.12 a4	0,0687 a4
28	15.42 a5	0,2570 a5
26	15.46 a5	0,2576 a5
20	18.12 a6	0,3020 a6
7	19.00 a6	0,3167 a6
14	19.14 a6	0,3190 a6
10	19.57 a7	0,3261 a7
23	19.77 a7	0,3295 a7
46	20.48 a7	0,3413 a7
42	22.08 a8	0,3680 a8
45	22.54 a8	0,3757 a8
32	26.23 a9	0,4372 a9
15	34.67 a10	0,5778 a10

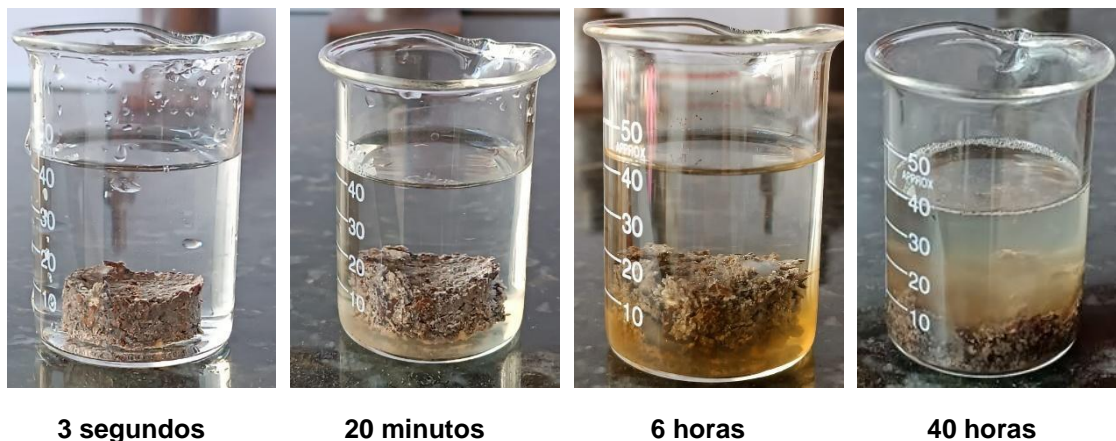
24	52.62 a11	0,8770 a11
38	53.20 a11	0,8867 a11
44	56.51 a12	0,9417 a12
5	61.67 a13	1,0278 a13
6	84.33 a14	1,4055 a14
27	187.67 a15	3,1278 a15
17	199.67 a16	3,3278 a16
11	232.00 a17	3,8667 a17
21	246.67 a18	4,1111 a18
37	259.67 a18	4,3278 a18
31	326.67 a19	5,4445 a19
35	342.33 a19	5,7055 a19
36	369.00 a20	6,1500 a20
34	369.72 a20	6,1620 a20
1	435.33 a21	7,2555 a21
30	526,79 a22	8,7798 a22
13	540.00 a22	9,0000 a22
43	646.67 a23	10,7778 a23
41	740.00 a24	12,3333 a24
25	804.33 a24	13,4055 a24
9	1438.33 a25	23,9721 a25
29	1441.67 a25	24,0278 a25
19	1843.33 a26	30,7221 a26
39	2460.00 a27	41,0000 a27

Média Geral: 304.22 CV: 4.53%; **Fonte:** Própria

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 15. Apesar da dissolução completa do briquete ter ocorrido 41 horas após o início do ensaio, verificou-se que por volta de 20 minutos após início do teste o fertilizante líquido começou a ser liberado se intensificando 6 horas depois.

Infere-se 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 o que corrobora com Isabel (2020) que estudando a aplicação de adubos líquidos em milho verificou níveis menores de valor de azoto se comparado com outros fertilizantes utilizados.

Figura 15. Dissolução em água a 25 °C experimento 39. Fonte: Própria.



No entanto, percebe-se que apesar dessa liberação rápida do adubo líquido ocorreu uma grande sinergia entre o mesmo e a goma xantana 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 à planta, não permitindo faltas nutricionais (Alves, 2020) no início de ciclo da cultura, e o segundo diz respeito ao efeito sinérgico entre aglutinante e adubo líquido sendo do ponto de vista da resistência mecânica do briquete algo a ser buscado (Barros, 2016).

Igualmente para a variável queda a 1,2 m verificou diferença estatística entre os experimentos sendo possível a aplicação do teste de Scott Knott retornando com 19 médias estatisticamente diferentes (Tabela 25). Novamente, assim como ocorreu para a variável dissolução em água a 25 °C houve um destaque para o experimento 39 que apresentou média de 91,33 quedas de 1,2 m refletindo uma capacidade muito interessante do ponto de vista ao transporte para o briquete produzido. 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.

Tabela 25. Teste de Scott Knott para os 46 experimentos variável queda a 1,2 m.

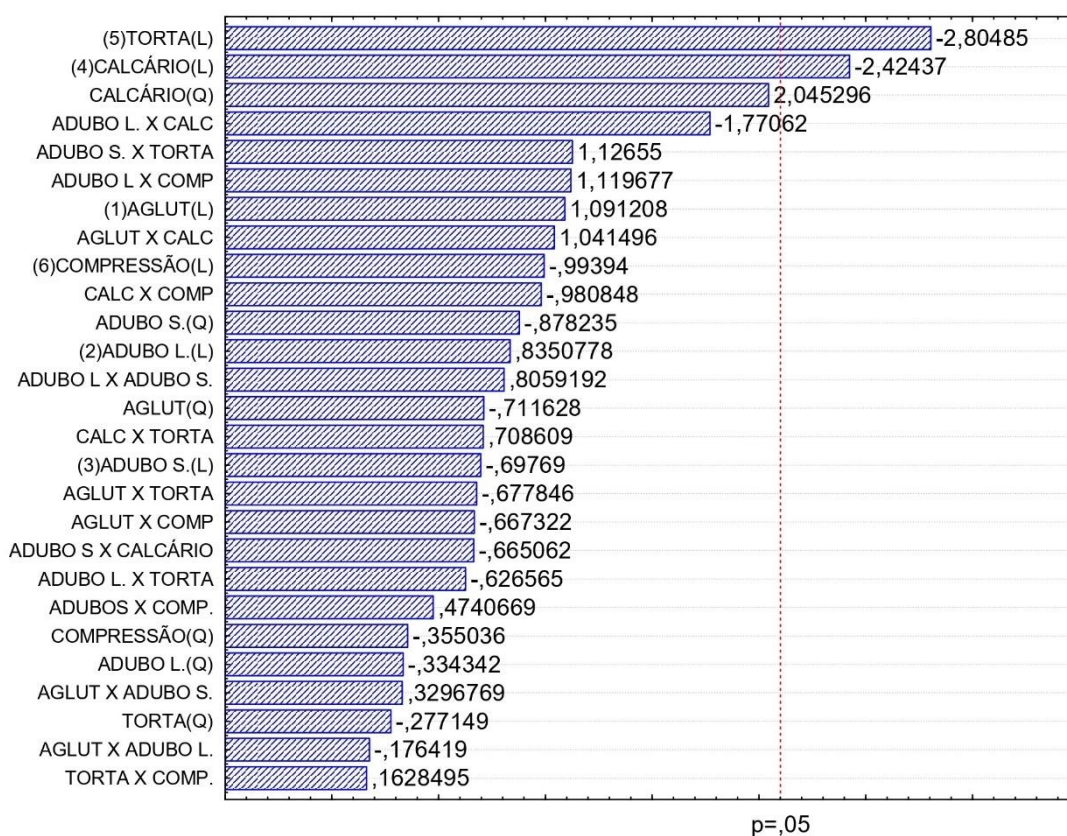
Tratamento	Média
3	1.00 a1
33	1.33 a1
7	2.33 a1
8	2.67 a1
1	2.67 a1
4	2.67 a1
11	4.67 a2
22	5.00 a2
15	5.00 a2
16	5.33 a2
40	5.67 a3
23	6.33 a4
32	7.33 a5
18	7.67 a5
46	8.00 a5
6	8.33 a5
13	8.33 a5
31	8.33 a5
5	8.67 a5
41	8.67 a5
2	10.33 a6
45	10.33 a6
20	11.33 a6
12	11.67 a6
34	12.67 a6
42	13.67 a7
35	14.00 a7
44	14.33 a7
38	16.67 a8
14	18.00 a9
37	18.67 a9
36	20.33 a10
21	22.00 a10
27	23.00 a11
43	24.00 a11
24	25.00 a11
28	25.00 a11
9	35.00 a12
17	36.67 a13
26	39.67 a14
25	42.67 a15
10	46.33 a16
19	59.33 a17
29	77.00 a18
30	80.67 a18
39	91.33 a19
Média Geral: 19.77 CV: 7.07%; Fonte: Própria	

Quanto à dissolução em água a 25 °C verificou-se que apenas a torta de mamona e o calcário tiveram efeito linear significativo (Figura 9) o que corrobora com Barros (2016) e Marinho (2019) que demonstraram baixo tempo de dissolução para finos de calcário. Quanto à torta de mamona, 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 de mamona o que corrobora com Dias *et al.* (2012) que verificou um inchaço nos briquetes de carvão vegetal (Afsal, 2020).

Quanto à dissolução em água a 25 °C (Figura 16) deve-se observar principalmente aquelas que possuem relações diretas com as que são significativas como a interação entre o aglutinante e o adubo líquido (Figura 17A), demonstrando que o aumento na variável resposta dissolução praticamente acontece inteiramente devido a goma xantana, atingindo um pico máximo em torno de 0,45 g ocorrendo posteriormente uma diminuição.

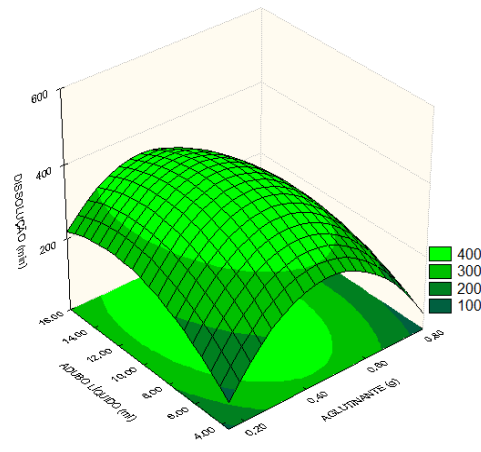
Figura 16. Gráfico de Pareto para variável resposta dissolução em água a 25 °C.
Fonte: Própria.



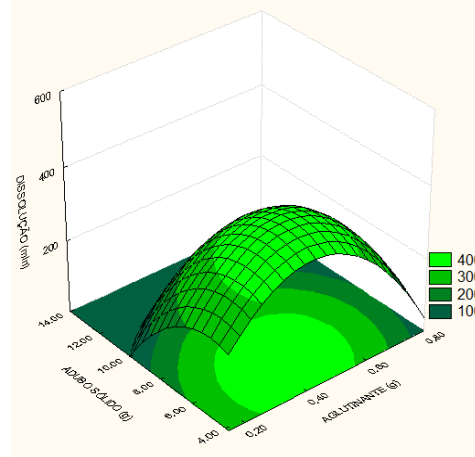
Observa-se pela (Figura 17C), há interação entre o calcário e o aglutinante, mostrando uma diminuição no tempo de dissolução até 30 g de calcário e posteriormente um incremento do mesmo, alcançando um pico por volta de 22h20min, no entanto observando-se o valor máximo atingido de dissolução no experimento 39 que foi de 41 horas, a interação produziria apenas 50% do valor máximo possível a ser atingido.

Essa queda na variável até 30 g pode ocorrer uma vez que a goma xantana em níveis baixos não consiga superar o efeito negativo do aumento de finos de calcário. Efeito muito parecido com a interação calcário x aglutinante foi do calcário x adubo sólido (Figura 17J) e do calcário x compressão (17N) que apresentaram o mesmo comportamento, ou seja, quanto menor a quantidade de calcário menor o tempo de dissolução atingindo aproximadamente 16h40min e 25 horas respectivamente. Observa-se que todas as interações com o calcário tiveram comportamentos próximos, ou seja, diminuições muito bruscas na variável resposta até por volta de 30 g de calcário, seguido de uma ascensão posterior.

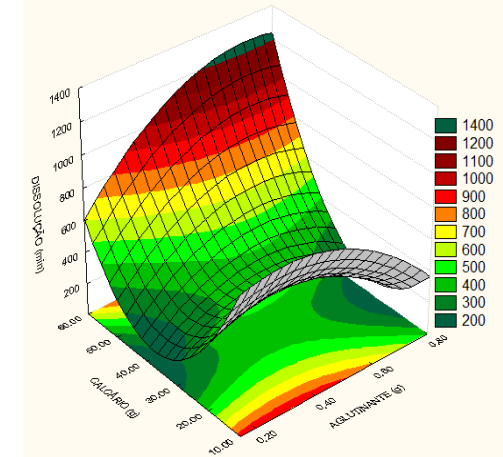
Figura 17. Dissolução em água a 25 °C. Fonte: Própria.



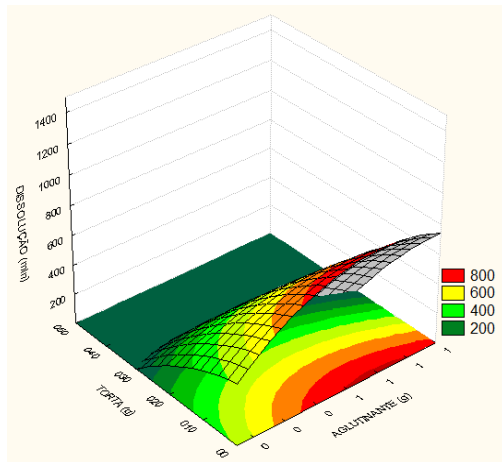
(a)



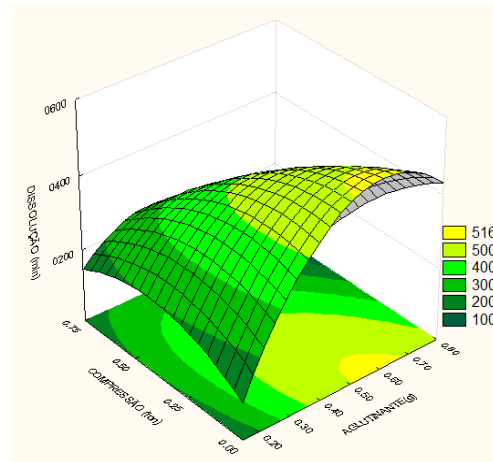
(b)



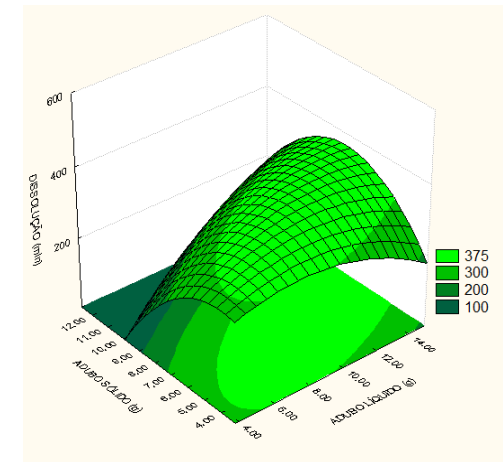
(c)



(d)

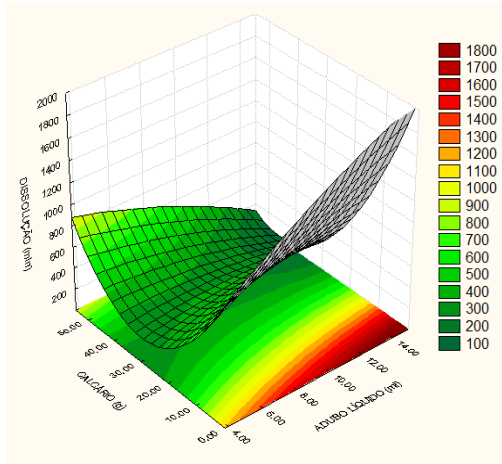


(e)

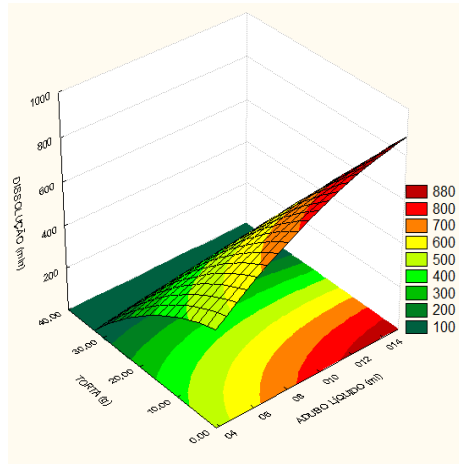


(f)

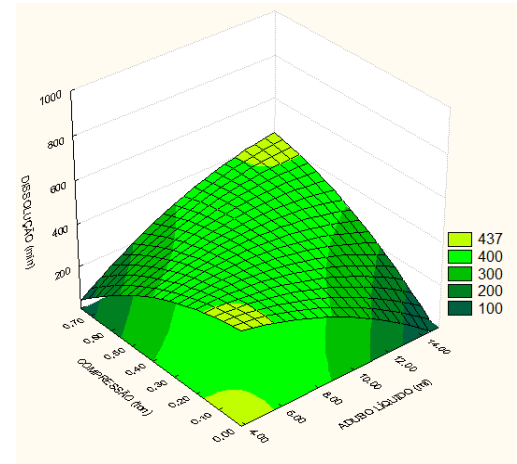
Figura 17. (Continuação) Dissolução em água a 25 °C. Fonte: Própria.



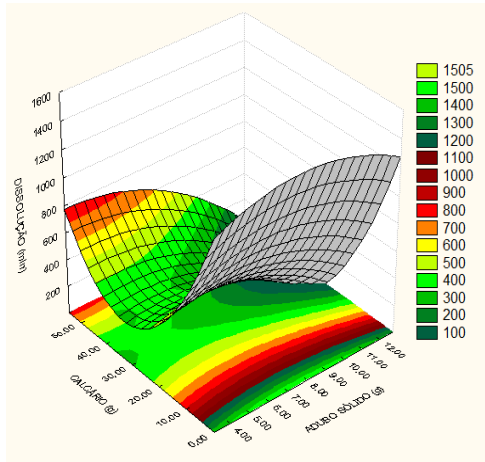
(g)



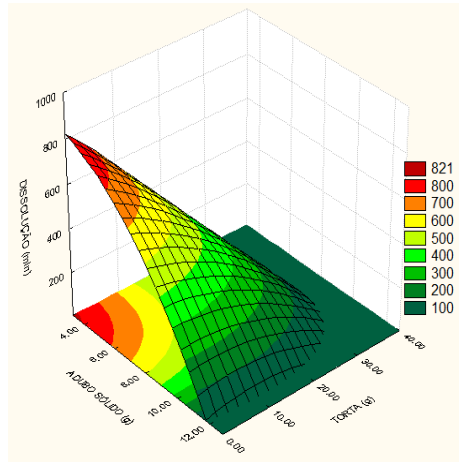
(h)



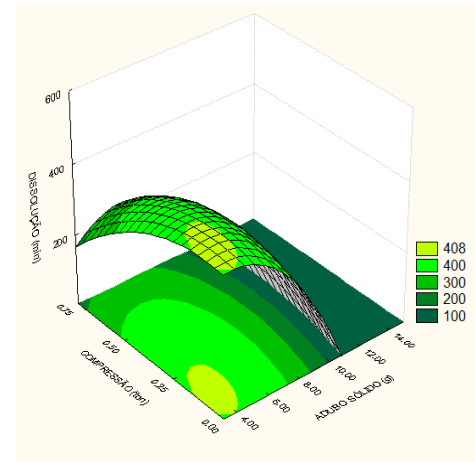
(i)



(j)

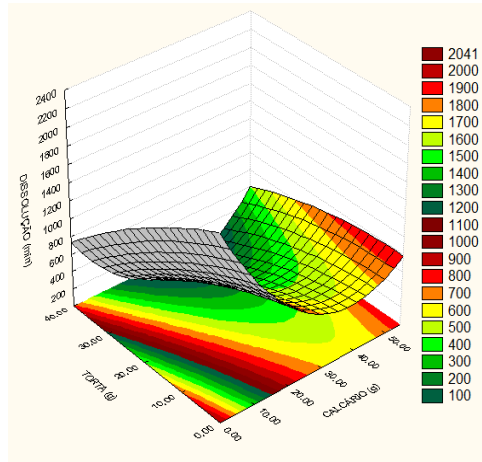


(k)

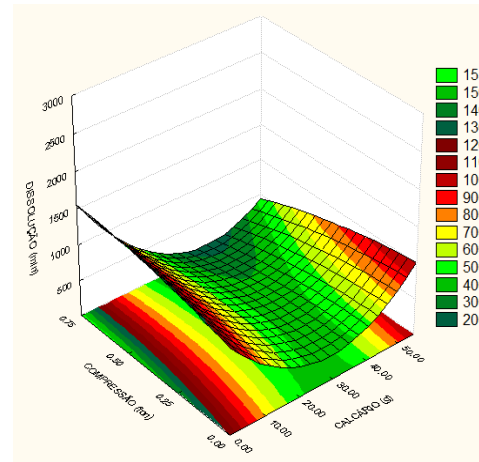


(l)

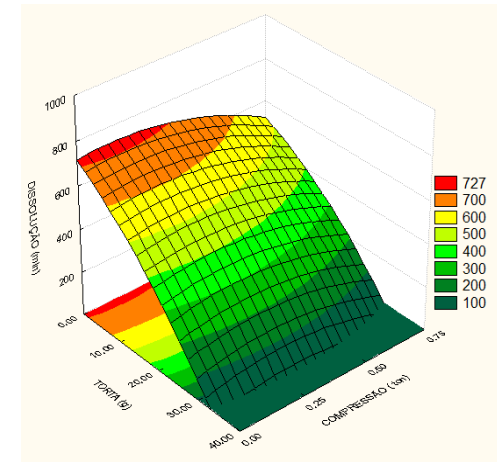
Figura 17. (Continuação) Dissolução em água a 25 °C. Fonte: Própria.



(m)



(n)



(o)

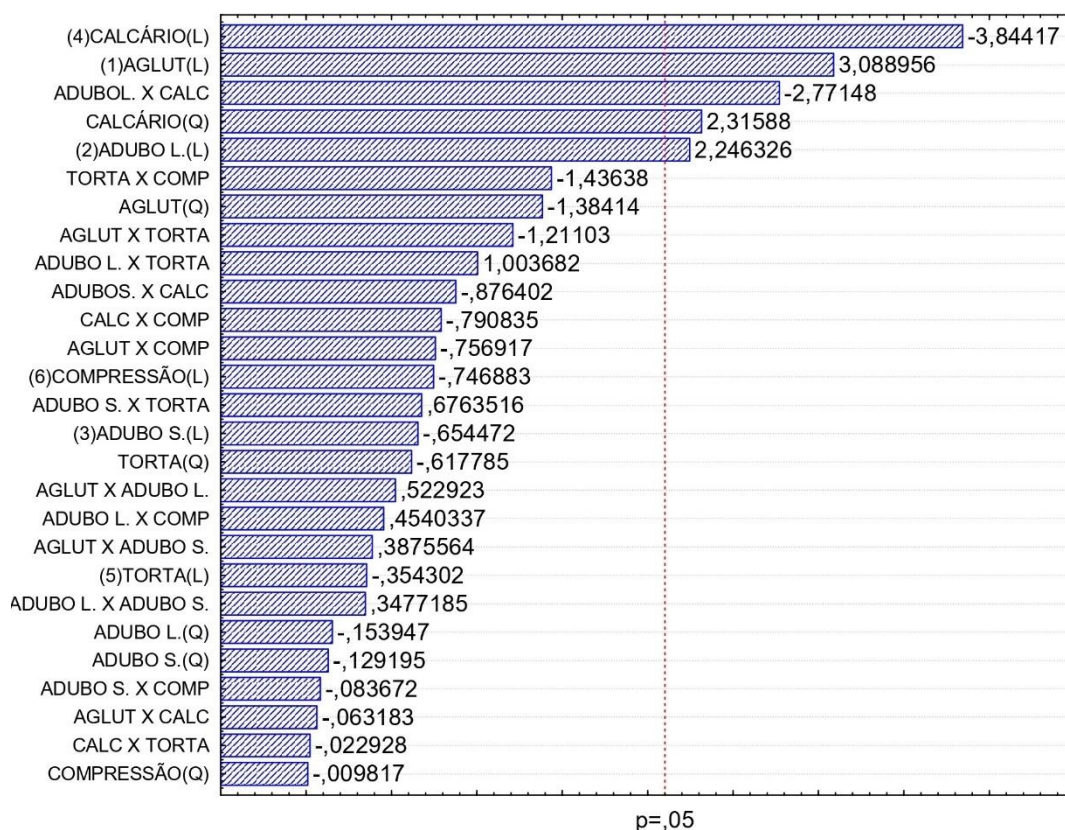
A interação entre o calcário e o adubo líquido (Figura 17G) apesar de verificar-se o mesmo comportamento das demais, nota-se que a inflexão aos 30 g de calcário ocorre, porém, chama atenção a retomada muito mais expressiva que nos anteriores, além do fato de que o adubo líquido não influenciou diretamente na variável resposta dissolução, porém a interação com a diminuição na dosagem de calcário produziu um resultado superior em resposta se comparado as outras interações com o calcário, atingindo um tempo de aproximadamente 33h,33min. Infere-se que possa ter ocorrido uma interação catiônica entre os íons de nutrientes encontrados no fertilizante e o calcário podendo inclusive ter ocorrido reação entre eles. Quanto a interação do calcário e a torta de mamona ambos significativos (Figura 16) nota-se um predomínio das características do calcário e pouco da torta de mamona exemplificando uma interação com efeitos antagônicos já que o calcário tende a dissolver e a torta de mamona a agregar, mas somados os dois produziram uma interação com amplitude de cerca de 3,25 horas, com um pequeno efeito mais interativo com o calcário.

Observa-se que as interações entre a torta de mamona e o aglutinante (Figura 17D), adubo líquido (Figura 17H), adubo sólido (Figura 17K) e compressão (Figura 17O) apresentaram o mesmo comportamento, ou seja, entre 30 e 40 g de torta de mamona os efeitos sobre a dissolução foram completamente negativos produzindo interações muito próximas de zero, ou seja, dissolução extremamente rápida. A partir de 30g a medida que havia a diminuição da quantidade de torta de mamona ocorria o aumento no tempo dissolução de forma considerável e expressiva atingindo 13,33, 13,67, 13,33 e 13 horas respectivamente. Observa-se que todas as outras variáveis não produziram efeitos se comparados a torta de mamona e que os tempos máximos de dissolução em água praticamente são os mesmos. A única interação com comportamento diferente foi entre a torta de mamona e o calcário (Figura 17M) o que pode ser explicado justamente pelo efeito significativo entre as 2 variáveis produzirem efeitos antagônico entre si.

Quanto a variável queda a 1,2 m percebe-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 18). Quanto a interação do calcário com outras variáveis, ou seja, calcário x aglutinante (Figura 19C), calcário x adubo líquido (Figura 19G), calcário x torta de mamona (Figura 19M) e calcário x compressão (Figura 19N) o comportamento foi muito parecido, inclusive corroborando com as características apresentadas para a

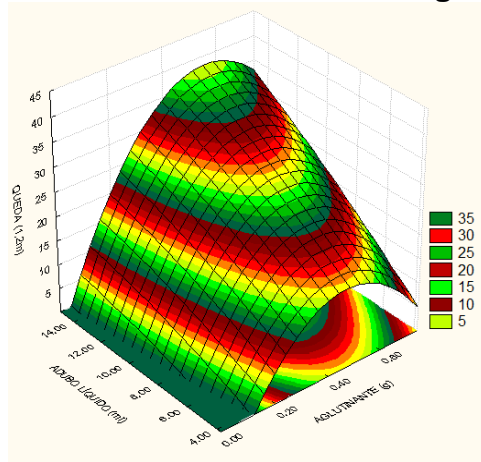
dissolução em água a 25 °C, ou seja, entre 30 g e 40 g apresentaram decréscimo do número de quedas com posterior ascensão entre 0 g e 30 g de calcário atingindo máximos de 70,100, 60 e 65 quedas respectivamente.

Figura 18. Gráfico de pareto variável queda a 1,2 m.

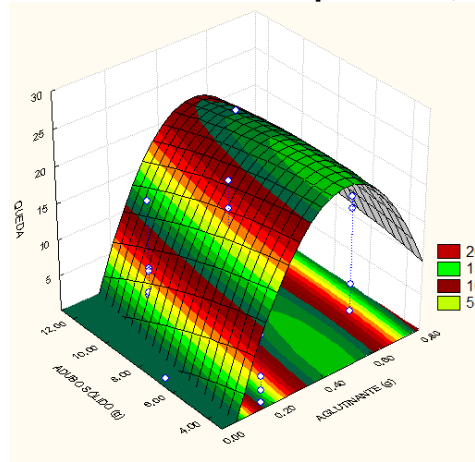


Dentre as 4 interações a mais pronunciada em termos de resposta foi do calcário com o adubo líquido sendo inclusive estatisticamente significativa, assim como na dissolução e provavelmente pelas mesmas razões discutidas anteriormente levando a um número de 65 quedas. Este valor é considerado elevado quando comparado com outros estudos já realizados para fins de calcário (Barros, 2016; Marinho, 2019), mas se comparado com a interação entre calcário e adubo líquido, o mesmo é relativamente menor.

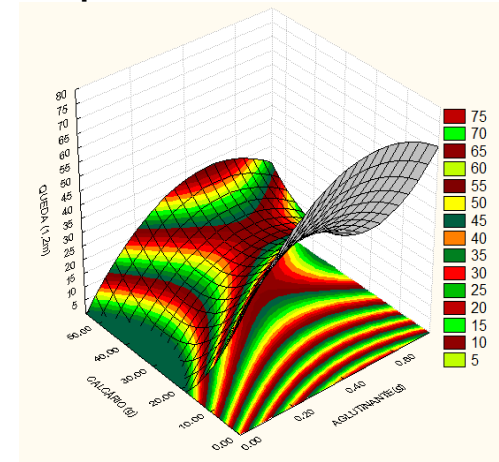
Figura 19. Resultados do teste de queda a 1,2 m. Fonte: Própria.



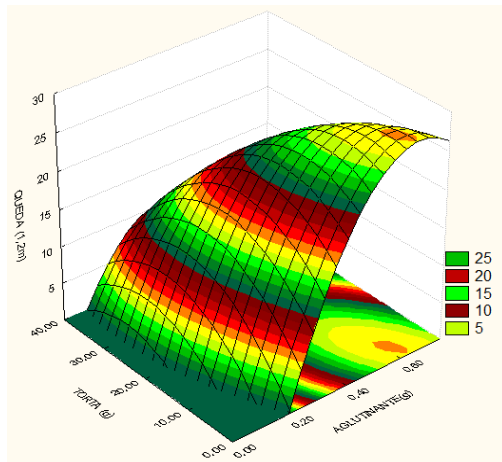
(a)



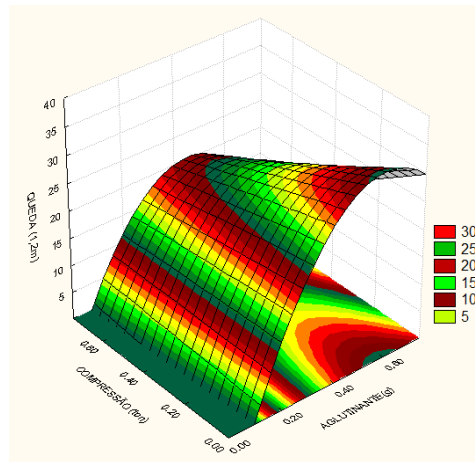
(b)



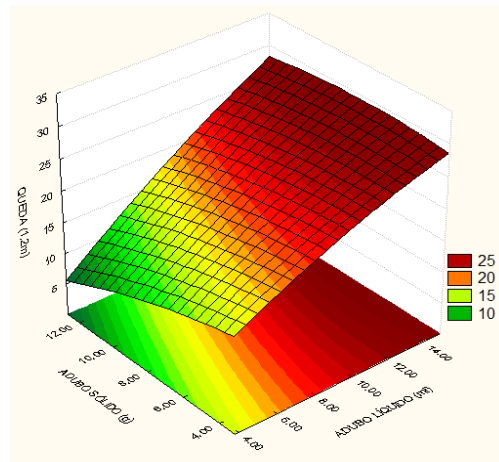
(c)



(d)

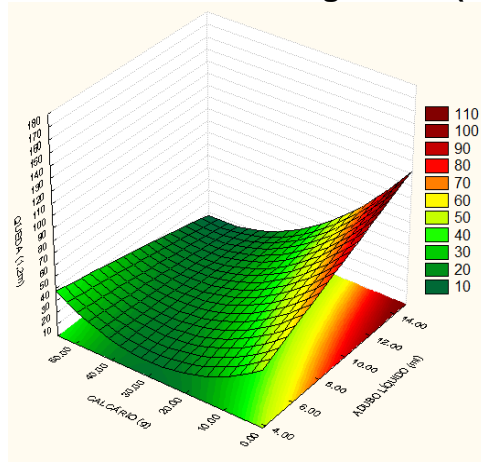


(e)

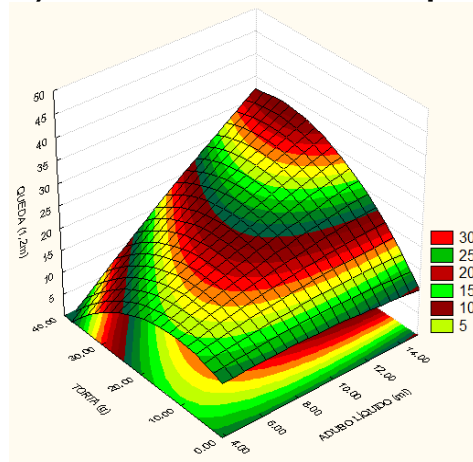


(f)

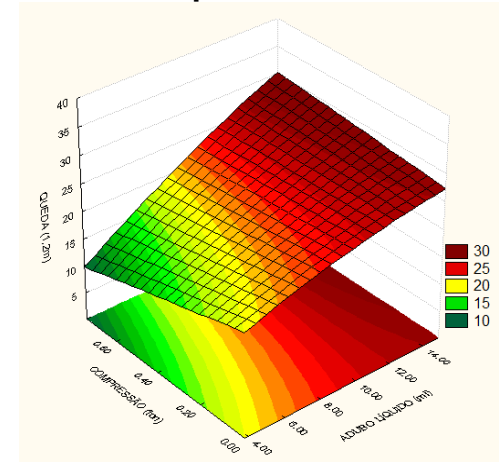
Figura 19. (Continuação) Resultados do teste de queda a 1,2 m. Fonte: Própria.



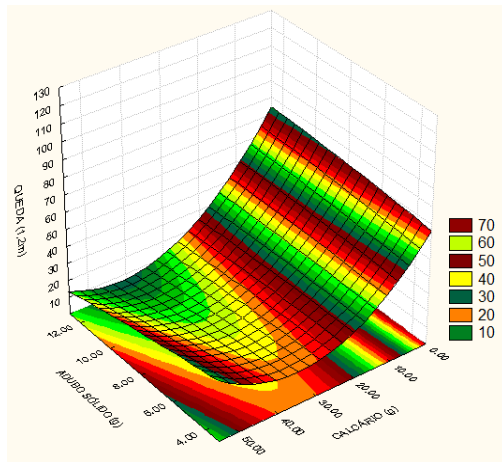
(g)



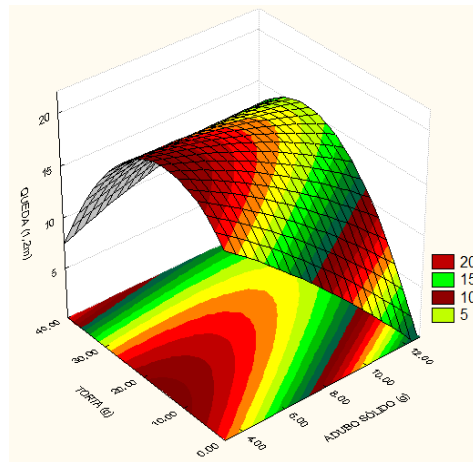
(h)



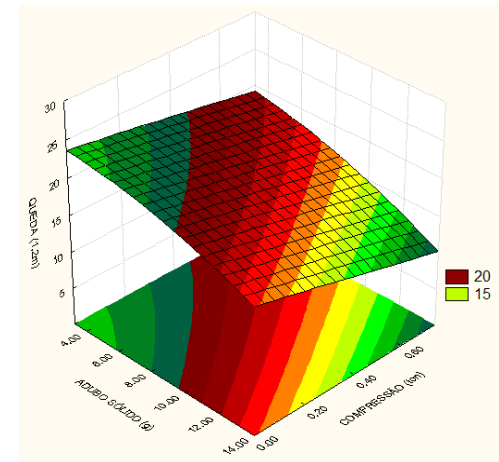
(i)



(j)

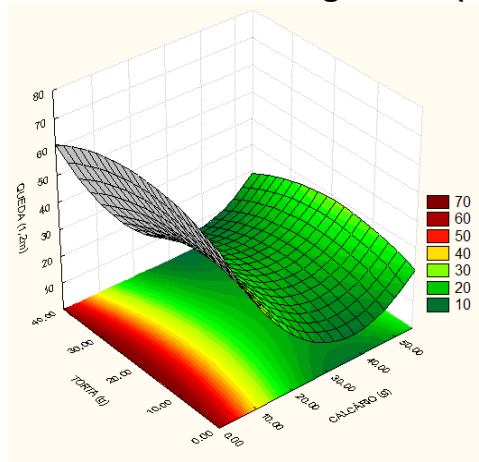


(k)

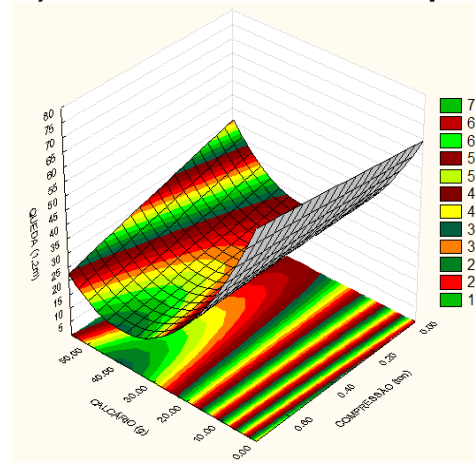


(l)

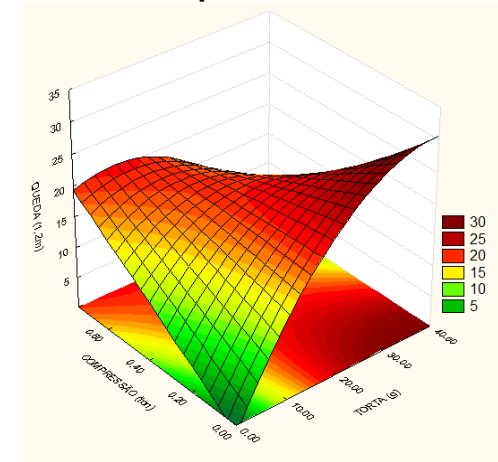
Figura 19. (Continuação) Resultados do teste de queda a 1,2 m. Fonte: Própria.



(m)



(n)



(o)

Isso pode ocorrer devido efeito antagônico entre as duas variáveis. As interações adubo líquido x aglutinante (Figura 19A), torta de mamona e aglutinante (Figura 19D) e compressão x aglutinante (Figura 19E) apresentaram comportamento muito semelhantes entre 0,4 g e 0,5 g onde apresentaram efeito negativo ao aumento da quantidade de aglutinante, diminuindo o número de quedas independente das outras variáveis.

No entanto, aproximadamente a 0,4 g de goma xantana, houve aumento no número de quedas com o aumento do adubo líquido, diminuição da torta de mamona e da compressão inclusive formando nessas condições os maiores valores de 25, 30 e 40 quedas respectivamente. Na interação adubo sólido x aglutinante (Figura 19B) ocorreu novamente uma diminuição no número de quedas entre 0,4 e 0,5 g de goma xantana, porém entre 0 g e 0,4 g o número de quedas permaneceu praticamente o mesmo independentemente da quantidade de adubo sólido, ou seja, este é um material inerte ao todo se comparado com a goma.

Em todas as interações em que o adubo líquido esteve presente, adubo líquido e goma xantana (Figura 19A), adubo sólido (Figura 19F), calcário (Figura 19G), torta de mamona (Figura 19H) e compressão (Figura 19I), quanto maior foi sua quantidade maior foi o número de quedas, independente das outras variáveis atingindo, o máximo de 38, 30, 110, 33 e 30 quedas respectivamente. O adubo líquido utilizado se mostrou um aglutinante para finos de calcário extremamente positivo, haja vista, que justamente nessa interação apresentou considerável aumento do número de quedas se comparado as outras interações.

Os resultados demonstraram que os parâmetros com melhores resultados tanto para a queda a 1,2m quanto a dissolução em água foram as massas de goma xantana, calcário e torta de mamona. Sendo assim a etapa 2 por constituir uma otimização da etapa 1 foram produzidos os 3 fertilizantes organominerais (Figura 20) modificando apenas as 3 variáveis.

Figura 20. Briquetes organominerais produzidos na etapa 2. Fonte: Própria.

Organomineral
1



T1

T2

T3

Organomineral
2



T4

T5

T6

Organomineral
3



T7

T8

T9

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 26. Infere-se mesma concordância com a etapa 1 onde demonstrou-se efeito positivo para massa de torta de mamona e de aglutinante e efeito negativo para a presença de calcário. Quanto ao critério mínimo estabelecido para as variáveis observa-se que apenas os experimentos T2, T3, T6, T7, T8 e T9 atingiram tais parâmetros em conjunto formando-se 6 possíveis fertilizantes organominerais.

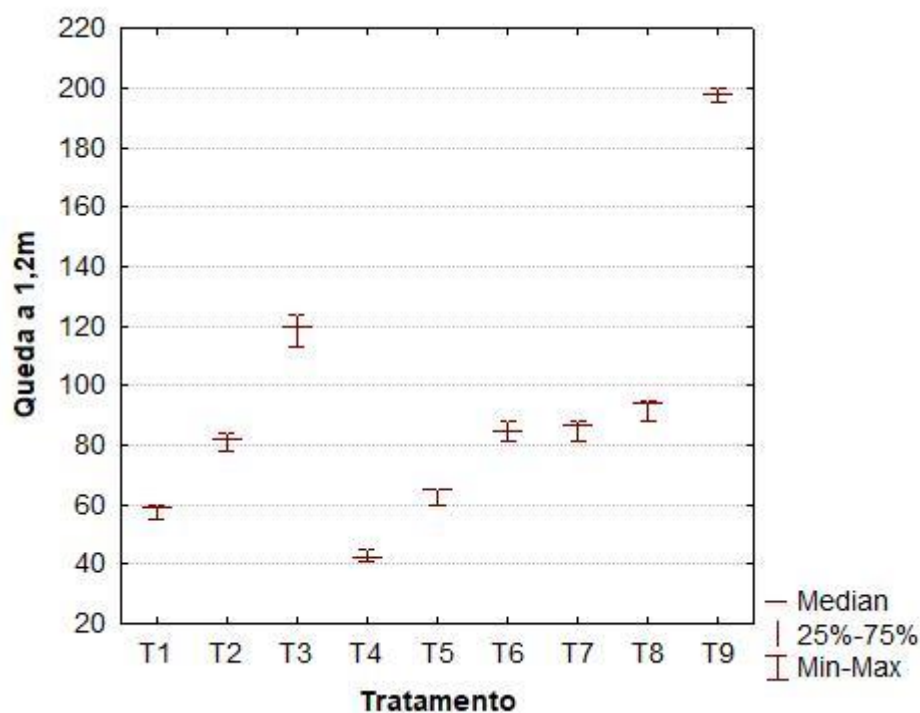
Tabela 26. Média da dissolução em água a 25°C e da queda a 1,2m dos fertilizantes briquetados.

Tratamento	Dissolução (h)	Queda 1,2m
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

Fonte: Própria

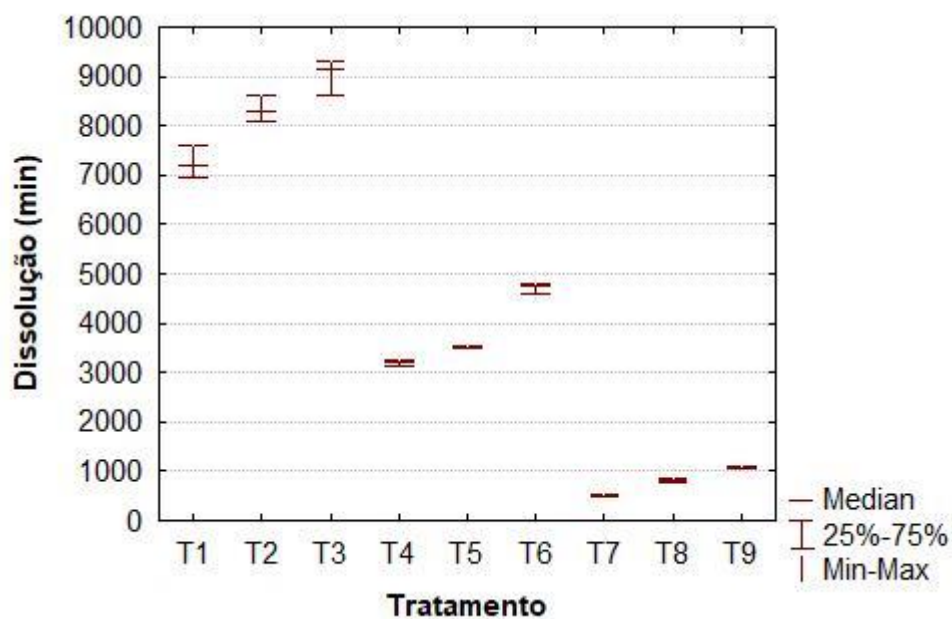
Considerando que os dados nem para queda a 1,2 m nem para a dissolução em água (minutos) a 25 °C apresentaram normalidade foi realizado para ambos o teste de Kruskal Walis demonstrando para a variável queda a 1,2 m (Figura 21) que o T9 apresentou diferença estatística de todos os demais e enorme diferença numérica. Quanto aos tratamentos T1, T4 e T5 apresentaram menores valores e pouca diferença entre si, sendo observado que provavelmente o T1 e T4 seja devido à baixa quantidade de aglutinante retificando os resultados obtidos anteriormente devido à forte interação com essa 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 (Adrien *et al.*, 2016, Astm, 2015).

Figura 21. Boxplot pra queda a 1,2 m. Fonte: Própria.



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 22) os tratamentos T1 a T3 apresentaram diferença estatística das demais, levando maior tempo para completo desfazimento enquanto os tratamentos T7 a T9 os menores.

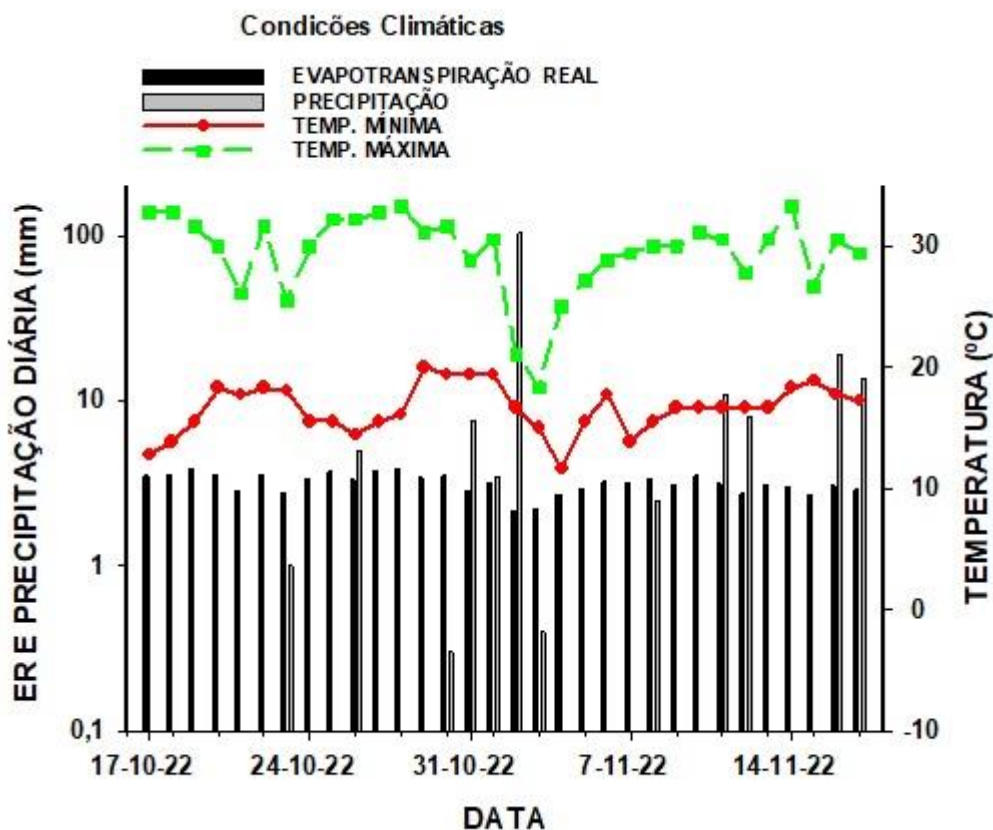
Figura 22. Boxplot para Dissolução em água a 25 °C. Fonte: Própria



5.2. Testes agronômicos em vasos

A Figura 23 mostra as condições climáticas durante o experimento sendo a diferença entre a evapotranspiração real e a precipitação a necessidade de irrigação.

Figura 23. Condições Climáticas. Fonte: Própria.



O primeiro parâmetro analisado foi o índice de emergência mostrando diferença significativa tanto para tratamento quanto para bloco (Tabela 27). Não era esperado diferença na velocidade de emergência, uma vez que a germinação de todos os tratamentos ocorreu no máximo 12 Dias Após o Plantio (DAP) e o crescimento das raízes seminais é paralisado por volta de 15 DAP. Em outras palavras até 15 DAP o sistema radicular seminal tem início com a germinação e emergência (VE) alongando até o estágio V3, utilizando-se quase que exclusivamente da energia contida na semente, iniciando-se após esse período o crescimento dos pelos radiculares do sistema nodal e aí sim paralisado o crescimento das raízes seminais. Quanto a diferença estatística apresentada para os tratamentos apesar de não ser esperado também não seria impossível tecnicamente, uma vez que o processo de germinação de sementes e emergência de plântulas possuem relação direta com a disponibilidade de água, oxigênio, temperatura e nutrientes.

Tabela 27. Velocidade de emergências das plântulas.

Tratamento*	V_{emergência}	Tratamento	V_{emergência}
7	0,518 a	4	0,413 ab
10	0,504 a	6	0,302 ab
9	0,493 a	3	0,296 ab
12	0,457 a	5	0,258 ab
8	0,425 ab	2	0,237 b
11	0,418 ab	1	0,218 b
Bloco*	V_{emergência}	Bloco	V_{emergência}
2	0,580a	3	0,330ab
1	0,449a	4	0,300ab
5	0,331ab	6	0,280b

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade; Fonte: Própria

Os briquetes são uma condição nova estudada e podem ter promovido novos parâmetros tais como pH, salinidade, quantidade de nutrientes, dentre outras o que pode ter criado uma condição diferente se comparado com tratamentos convencionais gerando diferenças de gradiente por exemplo na solução do solo em torno da semente o que justificaria uma diferença em termos de velocidade de emergência. Vários estudos mostram que modificações no ambiente próximo a semente podem levar a alterações na germinação (Faquin, 2005).

Isso pode ser observado já que com exceção do tratamento 4, os sete primeiros apresentaram maior velocidade de emergência guardando consigo uma característica comum que é o fato de que a dosagem de calcário foi aplicada no perfil do solo, o que pode ter criado condições melhores para a germinação. Souza *et al.* (1998) demonstraram correlação positiva entre o índice de velocidade de emergência e a presença de cálcio e magnésio em plantas de milho transgênico com dosagem de 36 mg/dm³, além disso verificou-se maior crescimento de diâmetro de colmos de plântulas de milho e maior área foliar corroborando também quanto as variáveis altura (cm) e diâmetro (cm) (Tabela 28), que demonstraram uma forte interação entre si quando comparados aos tratamentos convencionais que apresentaram significância estatística e matemática em relação aos demais tratamentos.

Tabela 28. Resultados para a altura e o diâmetro do milho 17 DAP.

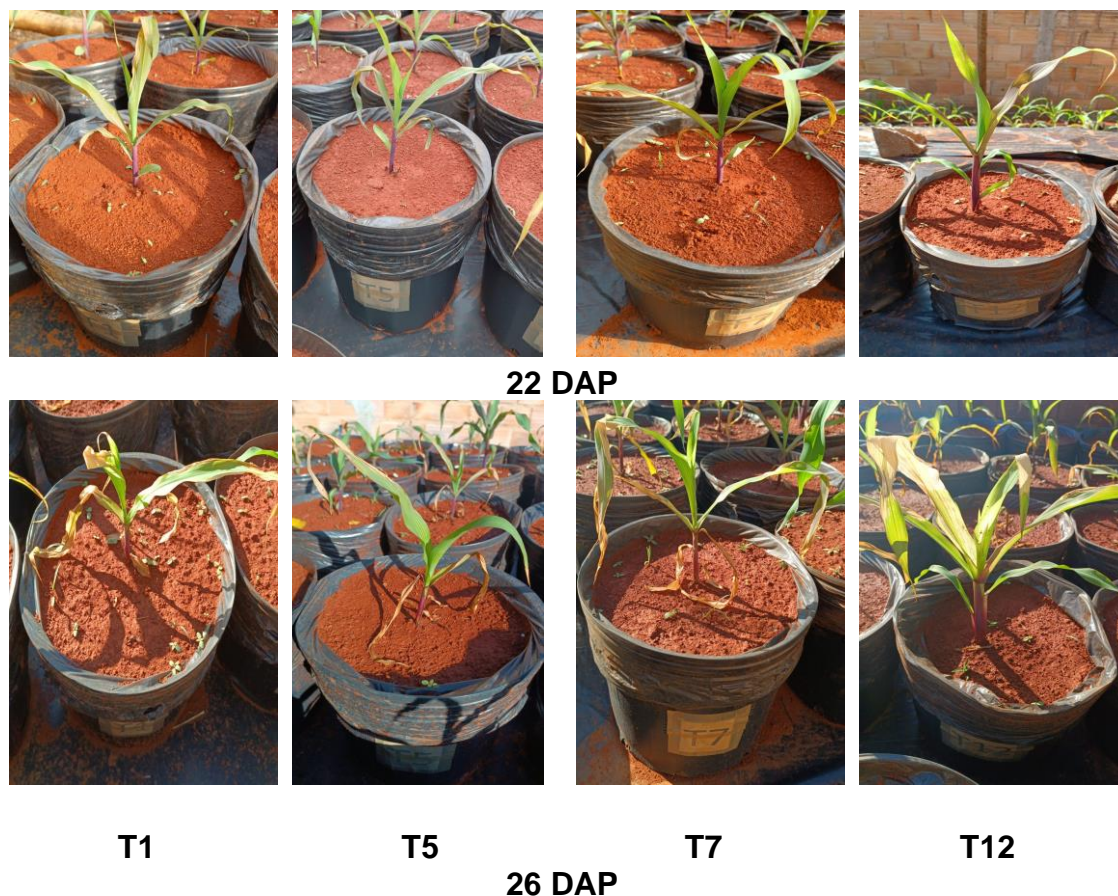
Tratamento*	Altura (cm)	Diâmetro (cm)
3	4,95 a	0,48 a
6	5,15 a	0,52 ab
9	5,25 a	0,53 ab
2	5,37 ab	0,54 ab
1	5,78 ab	0,56 ab
5	5,82 ab	0,57 ab
8	5,85 ab	0,57 ab
4	6,03 abc	0,57 ab
7	6,38 abc	0,62 bc
10	7,82 bc	0,73 c
11	8,35 c	0,74 c
12	8,57 c	0,76 c

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade, **Fonte:** Própria.

Porém, 19 DAP começaram a aparecer sintomas de deficiência de nutrientes nas plantas, caracterizadas por arroxamento das folhas e sinais de deficiência de zinco, progredindo para a morte de alguns tratamentos 26 DAP (Figura 24). Até 19 DAP as folhas apresentavam coloração verde escura e depois foi avançando para uma coloração arroxada (acúmulo de antocianinas) concentradas nas pontas e margens do limbo foliar, atingindo inclusive colmo (Lopes, 1991).

Infere-se que o evento possa ter relação com o ocorrido 17 DAP, uma forte precipitação na ordem de 103,5 mm pode ter promovido o encharcamento do solo com conseqüente lavagem dos nutrientes ao longo do perfil do vaso, sendo que os tratamentos convencionais apresentarem deficiência menos severas, porém mesmo assim comprometedoras no desenvolvimento normal da planta.

Figura 24. Progressão dos sintomas de deficiência no experimento. Fonte: Própria.



Considerando que os tratamentos convencionais também sofreram do mesmo problema e que o tratamento T12 seria considerado o mais convencional para a cultura, foram colhidos 3 blocos e enviados para análise ficando constatado os seguintes níveis médios de nutrientes foliar (Tabela 29).

Comparando-se os níveis encontrados (Tabela 29) com os níveis de referência (Tabela 30) considerados normais para a cultura (Vergutz *et al.*, 2017) verifica-se que fósforo e zinco se encontravam em deficiência provocando o aparecimento das características fisiológicas da planta. Infere-se que isso possa ter ocorrido pelo processo de lavagem do nutriente no perfil do solo, mas também por uma liberação exacerbada de cloro, uma vez que a fonte de potássio utilizada foi o cloreto de potássio, que pode ter sido excessivamente liberado devido ao evento pluviométrico extremo.

Tabela 29. Análise foliar tratamento 12.

Elemento	Unidade	Valor	Elemento	Unidade	Valor
N	g/kg	35,63	B	mg/kg	12,08
P	g/kg	1,99	Zn	mg/kg	14,63
K	g/kg	34,29	Fe	mg/kg	243,54
Ca	g/kg	6,31	Mn	mg/kg	69,17
Mg	g/kg	3,35	Cu	mg/kg	8,43
S	g/kg	2,20			

Fonte: Própria

Sabe-se que o cloro possui maior mobilidade no solo do que o fósforo, criando uma interação de antagonismo entre os dois elementos afetando a absorção de fósforo pela planta. Quanto ao zinco, ele pode ser afetado pela disponibilidade de nitrogênio (Soares, 2003) e pH do solo tendo preferência por caráter ácido (Souza, 1998) ou em disponibilidade excessiva de adubos fosfatados (Pavinato & Ceretta, 2004). Acredita-se que os 3 eventos possam ter ocorrido concomitantemente afetando grandemente e irreversivelmente o experimento uma vez que o excesso de água possa ter promovido o aumento desproporcional do nitrogênio e do fósforo afetando a absorção de zinco pela planta.

Tabela 30. Valores de referência dos teores foliares de nutrientes considerados adequados para a cultura do milho.

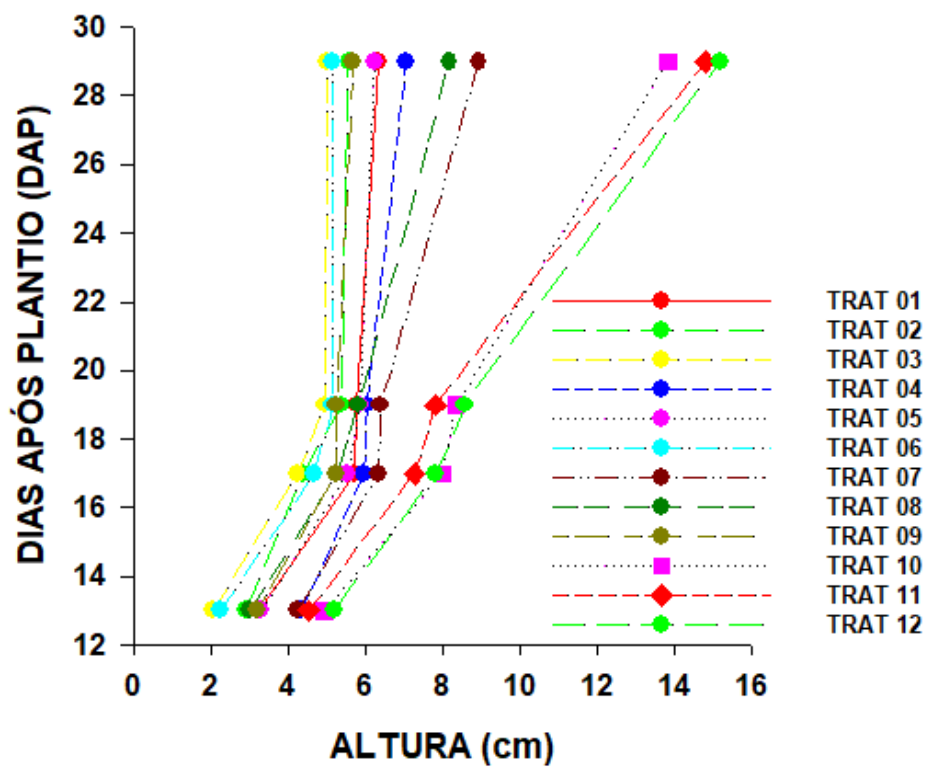
Macronutrientes	Teor (%)	Micronutrientes	Teor (mg/dm ³)
Nitrogênio	2,75 - 3,25	Boro	4 - 20
Fósforo	0,25 - 0,35	Cobre	6 - 20
Potássio	1,75 - 2,25	Ferro	20 - 250
Cálcio	0,25 - 0,40	Manganês	20 - 150
Magnésio	0,25 - 0,40	Molibidênio	0 - 20
Enxofre	0,10 - 0,20	Zinco	20 - 70

Fonte: Embrapa 2020.

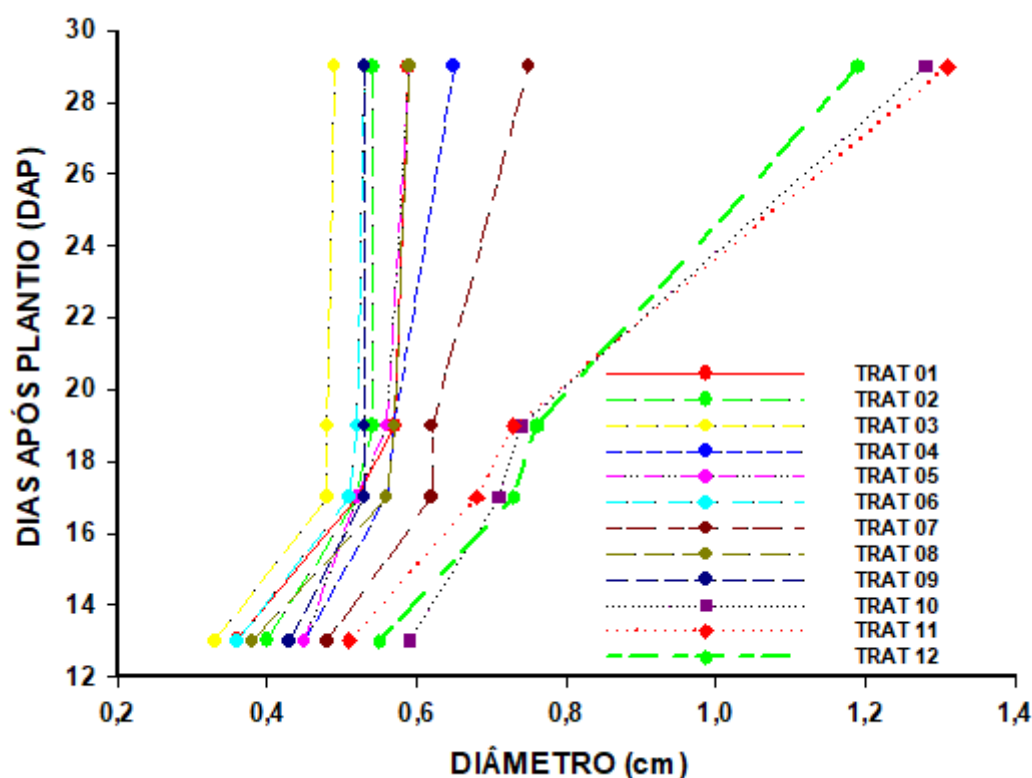
Apesar da deficiência foliar ter sido diagnosticada apenas para o Tratamento 12 infere-se que os resultados para os demais tratamentos ainda estejam com necessidades nutricionais ainda maiores. A (Figura 25) mostra que entre o 17^o e o 19^o DAP houve imediatamente a paralisação do crescimento tanto do diâmetro quanto do comprimento em todos os tratamentos com exceção dos convencionais. Após esse evento, apenas os tratamentos com briquetes de torta de mamona fertilizados e os

convencionais apresentaram retomada de crescimento para as duas variáveis sendo mais vigoroso para os tratamentos convencionais.

Figura 25. Altura e diâmetro das plantas -DAP. Fonte: Própria



(a)



(b)

Outra possível explicação para a morte das plantas pode ter sido o calor excessivo, já que foram usados vasos de polietileno pretos, além de ter sido colocados sacos de lixos biodegradáveis (Figuras 10 e 11) para evitar a perda de nutrientes. Segundo a Embrapa (2022) durante o período de germinação, as temperaturas ideais do solo para a cultura de milho estariam entre 25 °C e 30 °C, sendo que temperaturas do solo inferiores a 10 °C ou superiores a 40 °C ocasionam prejuízo sensível à germinação. A temperatura ideal para o desenvolvimento do milho, da emergência à floração, está compreendida entre 24 °C e 30 °C.

Observando-se as temperaturas máximas (Figura 23), verifica-se que a temperatura ambiente superou vários dias a máxima recomendada de 30 °C sendo possível inferir que a temperatura dos vasos tenha superado em muitos graus esse valor, o que pode inibir a redução do nitrato, por exemplo, afetando os teores de fósforo e zinco. Como houve danos irreversíveis ao experimento, o mesmo teve seu encerramento 30 DAP.

Após a desmontagem (Figura 26) verificou-se quanto a variável comprimento de raízes (Tabela 31) que os tratamentos T3, T6 e T9 apresentaram piores resultados

o que pode estar associado com o fato de serem aqueles com maior quantidade de briquetes, podendo ter gerado uma salinidade entorno da semente, promovendo uma inibição no crescimento radicular, pelo fato de que os tratamentos foram os que apresentaram maior tempo de dissolução em água a 25 °C, podendo não ter permitido uma boa relação disponibilidade/ necessidade provocando deficiência e problemas de absorção pelas raízes.

Tabela 31. Comprimento médio de raízes, matéria seca (Ms) das raízes e matéria seca (Ms) da parte aérea 30 DAP.

Tratamento	Comp. Raiz (cm)	Tratamento	Ms raízes (g)	Tratamento	Ms parte aérea (g)
12	97,00 a	10	3,265 a	10	3,185 a
11	83,00 a	11	2,832 a	12	2,263 a
4	78,83 ab	12	2,297 a	11	2,187 a
7	78,33 ab	8	1,513 a	7	1,077 ab
10	77,33 ab	7	1,180 a	8	0,953 ab
8	64,67 ab	4	0,853 b	4	0,660 ab
5	61,83 ab	9	0,743 b	9	0,545 ab
2	60,83 ab	5	0,582 b	5	0,510 b
1	59,00 ab	1	0,532 b	1	0,438 b
3	49,42 b	3	0,522 b	6	0,383 b
9	38,00 b	6	0,513 b	3	0,318 b
6	36,33 b	2	0,328 b	2	0,272 b

Teste de Freedman seguido por teste de Tukey. Fonte: Própria.

Percebe-se que os tratamentos com calcário e gesso não foram satisfatórios como adubos através de briquetes, podendo ter ocorrido por supercalagem, antagonismo na absorção de nutrientes ou problemas na liberação nutricional para a planta de acordo com sua necessidade. Quanto a variável matéria seca de raízes (Tabela 31) observa-se novamente que os melhores resultados foram apresentados pelos tratamentos convencionais, T7 e T8 guardando entre si uma importante relação que diz respeito ao fato de que o calcário foi aplicado via perfil de solo e não via briquete corroborando com os resultados de velocidade de emergência das plântulas.

Já a variável matéria seca da parte aérea (Tabela 31) os tratamentos convencionais foram diferentes significativamente de todos os outros, o que pode ser explicado pelo fato do calcário no perfil do solo e pelo parcelamento da adubação nitrogenada, o que pode ter promovido menos excesso de nitrogênio no perfil do solo com menos impacto na disponibilidade de zinco e conseqüentemente de fósforo.

Para os parâmetros analisados (Tabela 31) deve-se levar em consideração que todos os tratamentos estavam sob estresse pela falta de fósforo e zinco o que pode ter afetado a utilização de outros nutrientes, bem como seu transporte e eficiência de uso, além é claro, de fatores ambientais e do genótipo da cultivar utilizada (Pavinato & Ceretta, 2004). Resende *et al.* (2016) observou a existência de diferenças significativas em algumas cultivares de milho quanto a acumulação de fósforo e na sua relação de retirada, mesmo em níveis mais altos do nutriente no solo, concluindo que diferentes mecanismos de uso afetam diferentes cultivares do milho podendo então ser possível respostas diferentes se utilizado outro material genético.

Figura 26: Briquetes, parte aérea e raízes do teste agrônômico em vasos.



T4 B1



T5 B1



T6 B1



T7 B1



T8 B1



T9 B1



T10 B1



T11 B1



T12 B1



T1 B2



T2 B2



T3 B2



T4 B2



T5 B2



T6 B2



T7 B2



T8 B2



T9 B2



T10 B2



T11 B2



T12 B2



T1 B3



T2 B3



T3 B3



T4 B3



T5 B3



T6 B3



T7 B3



T8 B3



T9 B3



T10

B3



T11

B3



T12

B3



T1

B4



T2

B4



T3 B4



T4 B4



T5 B4



T6 B4



T7 B4



T8 B4



T9 B4



T10 B4



T11 B4



T12 B4



T1 B5



T2 B5



T3 B5



T4 B5

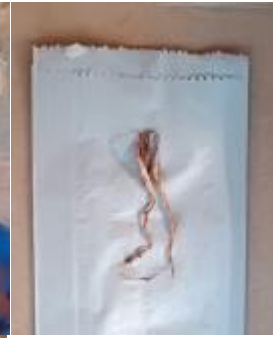


T5 B5



T6

B5



T7

B5



T8

B5



T9

B5



T10

B5



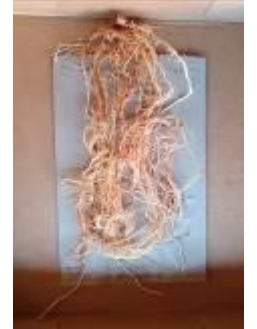
T11

B5



T12

B5



T1

B6



T2

B6



T3

B6



T4 B6



T5 B6



T6 B6

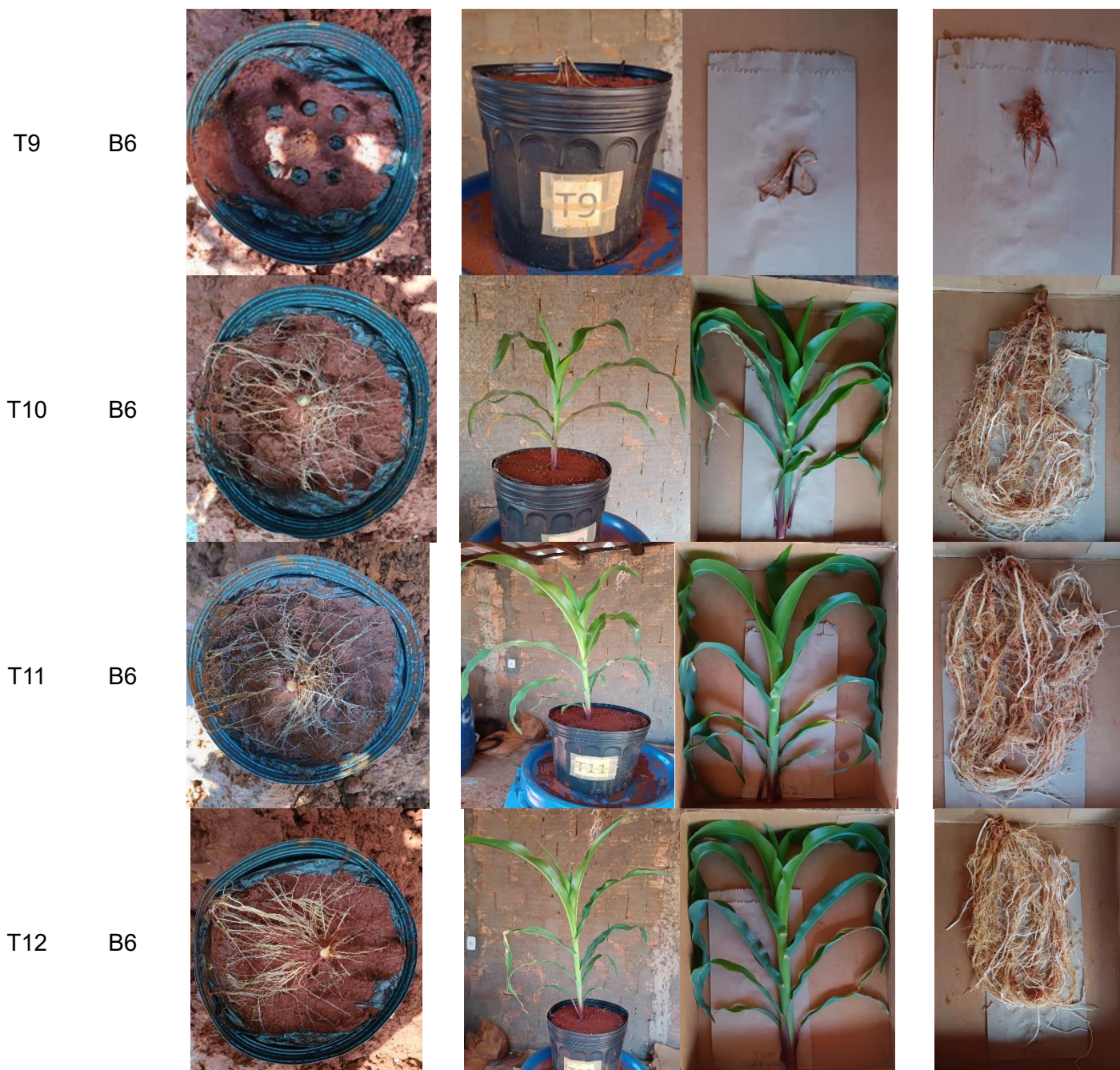


T7 B6



T8 B6

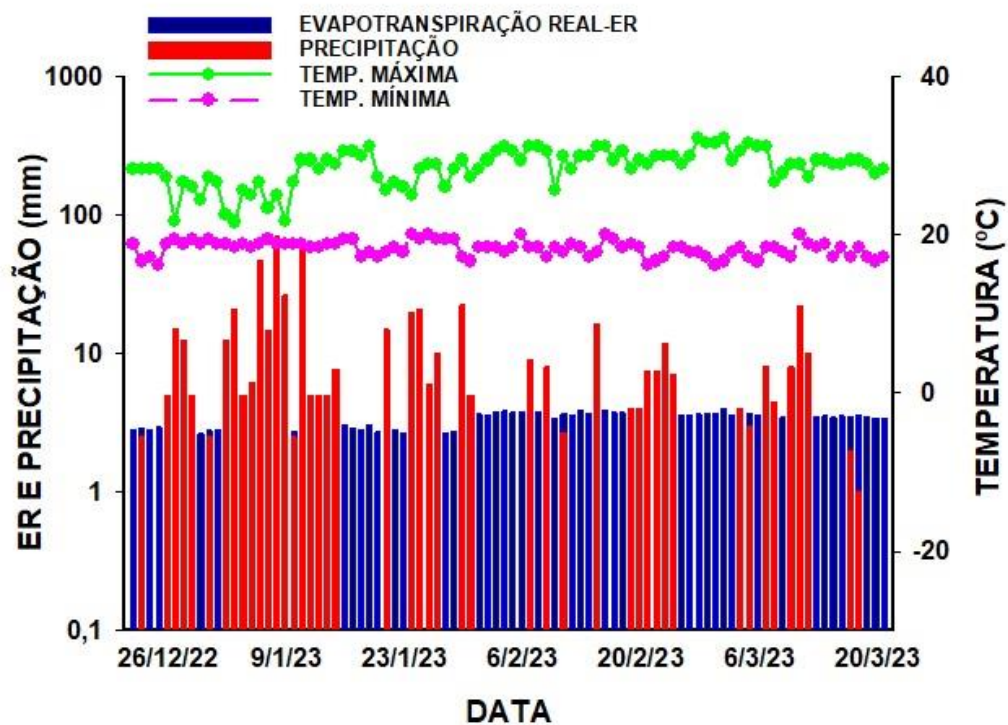




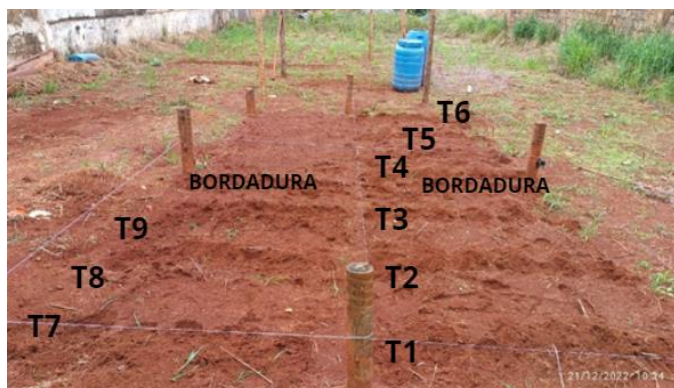
4.3. Testes agronômicos em campo

A (Figura 27) mostra as condições climáticas no ciclo total de 90 dias. Percebe-se boa distribuição de chuva ao longo da cultura, mas com dias em que a irrigação teve de ser realizada conforme a diferença entre evapotranspiração real-ER e precipitação para a área do experimento.

Figura 27. Evapotranspiração real e precipitação no ciclo da cultura. Fonte: Própria.



A Figura 28 mostra a evolução dos testes agrônômicos em campo no período estudado.

Figura 28. Evolução dos testes agrônômicos em campo

21/12/2022



24/12/2022



27/12/2022



28/12/2022



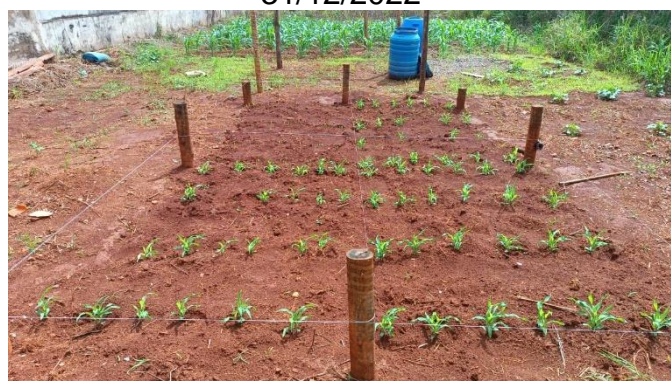
29/12/2022



31/12/2022



02/01/2023



03/01/2023



04/01/2023



05/01/2023



06/01/2023



07/01/2023



10/01/2023



11/01/2023



13/01/2023



15/01/2023



16/01/2023



17/01/2023



18/01/2023



19/01/2023



21/01/2023



23/01/2023



25/01/2023



26/01/2023



27/01/2023



29/01/2023



30/01/2023



01/02/2023



02/02/2023



04/02/2023



05/02/2023



06/02/2023



08/02/2023



09/02/2023



11/02/2023



13/02/2023



15/02/2023



16/02/2023



20/02/2023



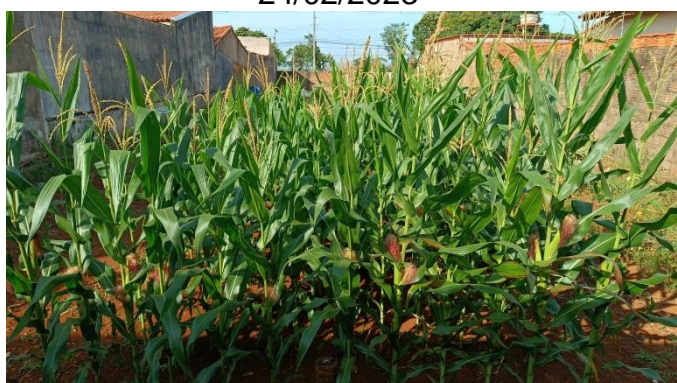
22/02/2023



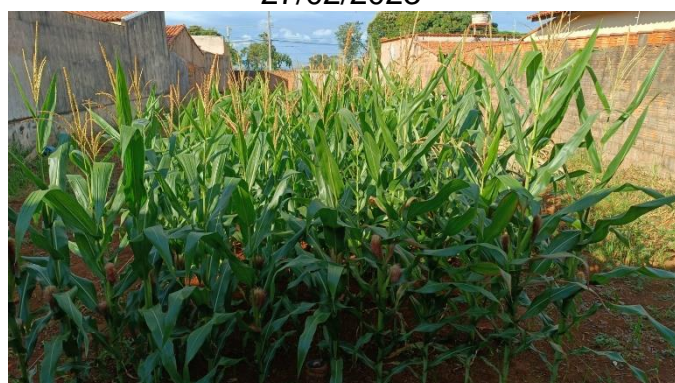
24/02/2023



27/02/2023



01/03/2023



03/03/2023



06/03/2023



08/03/2023



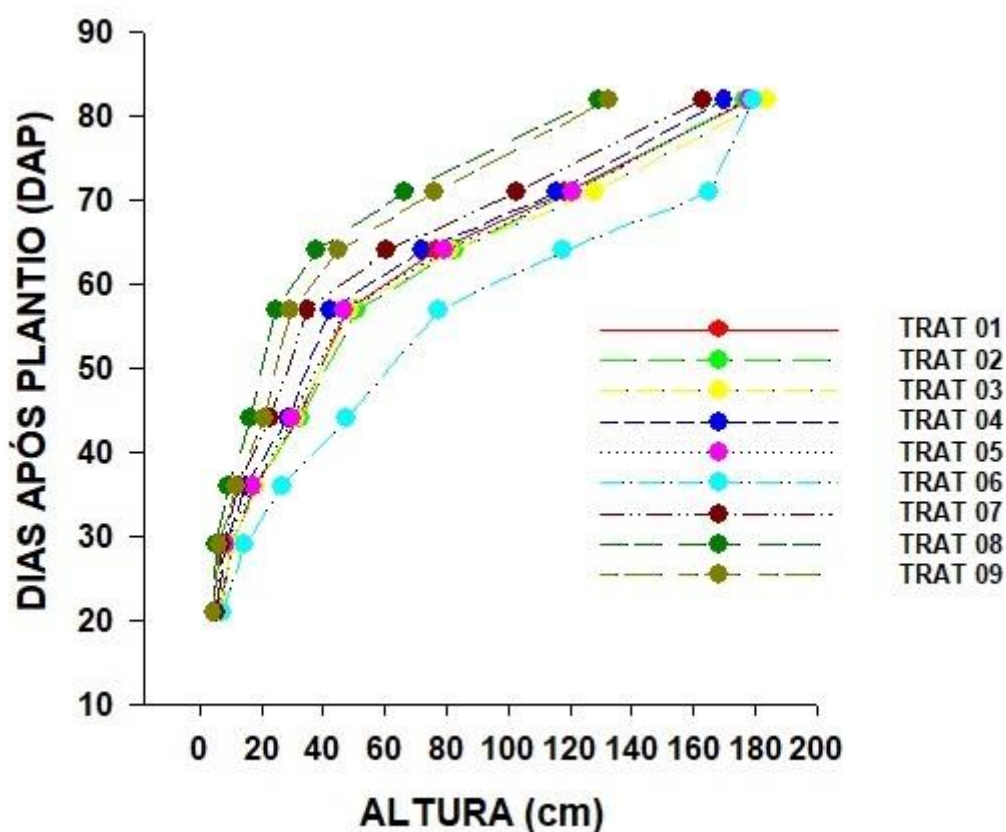
10/03/2023



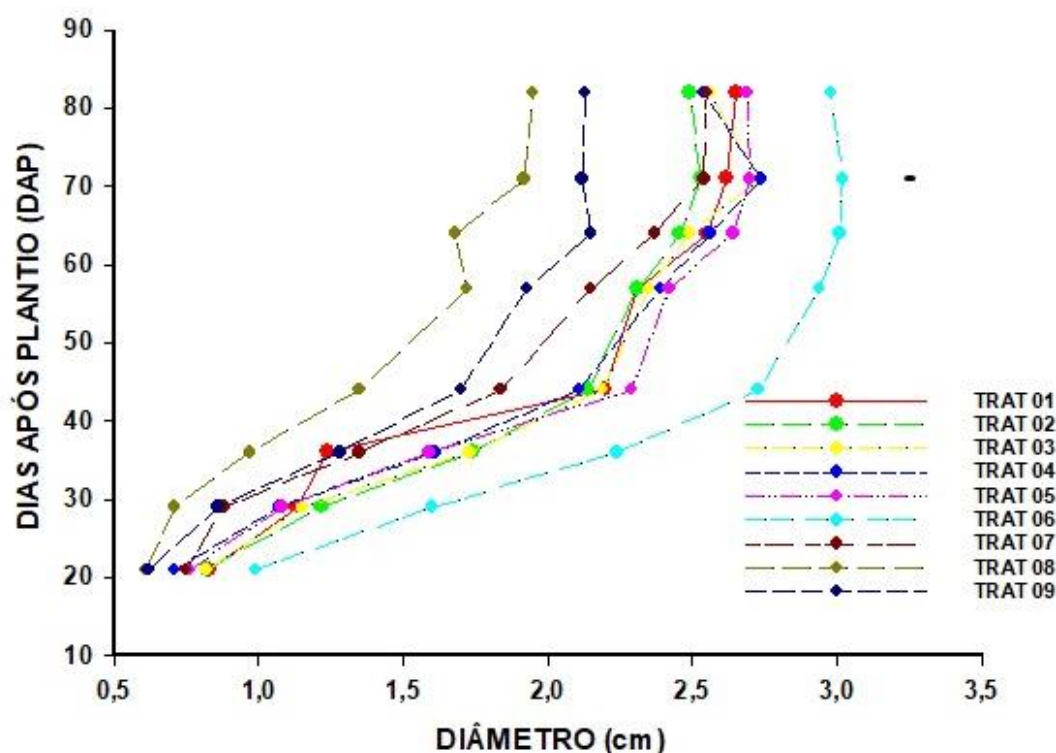
20/03/2023

A análise de variância revelou efeitos significativos entre os tratamentos, para as variáveis altura de planta e diâmetro de caule aos 82 DAP (Figura 29 e Tabela 32). Observa-se que o tratamento T6 apresenta diferença estatística de todos os demais quanto ao diâmetro de caule e o T3, T6 e T1 apresentam maior diferença numérica quanto a altura da planta, inferindo-se que o tratamento T6 possui em conjunto os melhores resultados quanto as duas variáveis em conjunto.

Figura 29. Diâmetro e altura no ciclo da silagem de milho. Fonte: Própria.



(a)



(b)

Observa-se também que de forma geral não há diferenças estatísticas significativas entre o percentual de fertilizantes aplicadas dentro dos tratamentos, ou seja, considerando o mesmo tratamento alterando apenas a quantidade de fertilizante não houve diferenças significativas nas características físicas da planta de milho demonstrando que os métodos de cálculo utilizado comercialmente e aplicados ao experimento possam ter superestimado a necessidade da cultura.

Tabela 32. Altura e diâmetro das plantas de milho 82 DAP.

Tratamento*	Diâmetro (cm)	Altura (cm)
T8	1,95 a	129,33 a
T9	2,13 a	132,33 ab
T2	2,49 ab	162,83 ab
T4	2,54 ab	169,83 ab
T7	2,55 ab	176,67 b
T3	2,56 ab	177,58 b
T1	2,65 ab	178,50 b
T5	2,69 ab	179,17b
T6	2,98 b	183,75 b

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade; Fonte: Própria.

Infere-se assim que em outros solos brasileiros possam ocorrer desperdício de fertilizantes devido ao modo de cálculo, ou que o conjunto de características químicas do solo e da planta no estudo proporcionaram um uso mais eficiente. A dosagem de fertilizante não afetou os dois parâmetros analisados entre tratamentos, porém deve-se lembrar que são parâmetros ligados a parte vegetativa da cultura (Nussio *et al.*, 2001), o que não exclui a influência na fase reprodutiva, ou seja, apesar da dosagem não ter influenciado os parâmetros analisados possa sim afetar as espigas, lembrando que a silagem de milho é a soma do corte das partes vegetativas e reprodutivas de toda a planta. Quanto aos tratamentos T8 e T9 apresentaram os piores resultados para ambas as variáveis, podendo estar associado ao fato de que possuíam apenas 25% e 37,5% da dosagem recomendada de calcário e gesso e 50% e 75% da dosagem de fertilizante, o que pode ter levado a uma deficiência nutricional à planta ou problemas de supercalagem já que a dosagem ficou muito próxima das raízes da planta mesmo em forma reduzida quando comparada com a demanda calculada.

Nota-se que o tratamento T7 não apresenta diferença estatística em relação aos melhores resultados obtidos. Observando-se apenas as variáveis diâmetro e altura de planta num primeiro momento, percebe-se que existe potencial de uso do referido briquete de forma isolada. Contudo, os melhores resultados foram apresentados pelo briquete de torta de mamona e no tratamento convencional com 50% da dosagem de fertilizantes, não justificaria diante da possibilidade de reduzir pela metade o uso de adubos químicos, além da inviabilidade técnica do aumento da dosagem de calcário e gesso.

Sugere-se que os resultados apresentados no tratamento T6 com adubação organomineral via briquete seja em virtude da liberação gradual da parte mineral do fertilizante e da melhoria das condições do solo propiciadas pela parte orgânica da torta de mamona, como aumento da CTC do solo e melhoria das condições microbiológicas para o desenvolvimento de plantas (Alves *et al.*, 1999). Inclusive observa-se que nos estágios iniciais do desenvolvimento da planta o tratamento T6 apresentou maior resposta em relação ao crescimento vegetativo inicial (Figuras 30, 31 e 32) o que pode levar a uma maior resposta produtiva.

Figura 30. Evolução teste em campo - tratamentos convencionais

29/12/2022



31/12/2022



02/01/2023



03/01/2023



04/01/2023



05/01/2023



06/01/2023



07/01/2023



09/01/2023



09/01/2023 DESBASTADO



10/01/2023



11/01/2023



12/01/2023



15/01/2023



16/01/2023 1ª Adubação cobertura



17/01/2023



18/01/2023



19/01/2023



21/01/2023



23/01/2023



25/01/2023



26/01/2023 2ª Adubação em cobertura



27/01/2023



29/01/2023



30/01/2023



01/02/2023



02/02/2023



04/02/2023



05/02/2023



06/02/2023



08/02/2023



09/02/2023



11/02/2023



13/02/2023



15/02/2023



16/02/2023



20/02/2023



22/02/2023



24/02/2023



27/02/2023



01/03/2023



03/03/2023



06/03/2023



08/03/2023

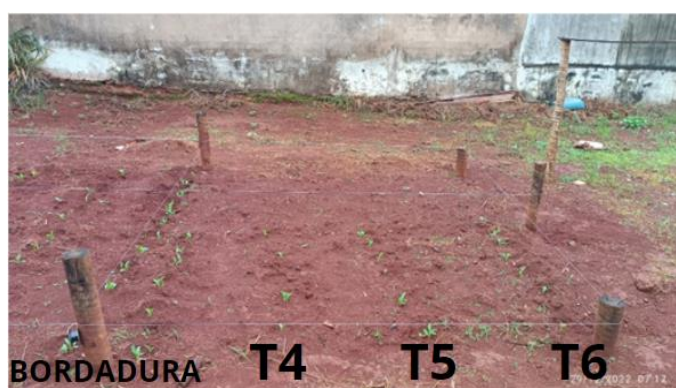


10/03/2023



20/03/2023

Figura 31. Evolução teste em campo - tratamentos com torta de mamona



BORDADURA

T4

T5

T6

29/12/2022



31/12/2022



02/01/2023



03/01/2023



04/01/2023



05/01/2023



06/01/2023



07/01/2023



09/01/2023



09/01/2023 DESBASTE



10/01/2023



11/01/2023



12/01/2023



15/01/2023



16/01/2023



17/01/2023



18/01/2023



19/01/2023



21/01/2023



23/01/2023



25/01/2023



26/01/2023



27/01/2023



29/01/2023



30/01/2023



01/02/2023



02/02/2023



04/02/2023



05/02/2023



06/02/2023



08/02/2023



09/02/2023



11/02/2023



13/02/2023



15/02/2023



16/02/2023



20/02/2023



22/03/2023



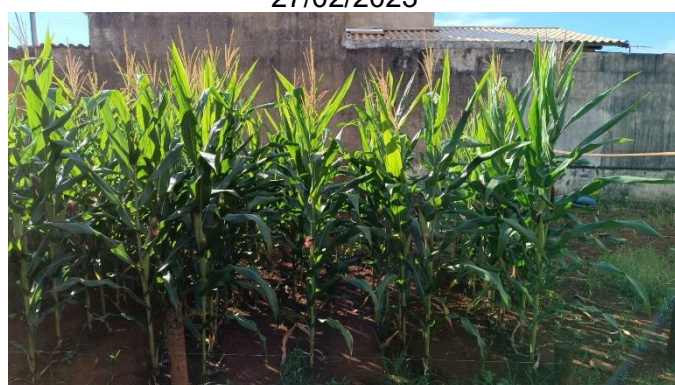
24/02/2023



27/02/2023



01/03/2023



03/03/2023



06/03/2023



08/03/2023



10/03/2023



20/03/2023

Figura 32. Evolução teste em campo - tratamentos com gesso



29/12/2022



31/12/2022



02/01/2023



03/01/2023



04/01/2023



05/01/2023



06/01/2023



07/01/2023



09/01/2023



09/01/2023 DESBASTE



10/01/2023



11/01/2023



12/01/2023



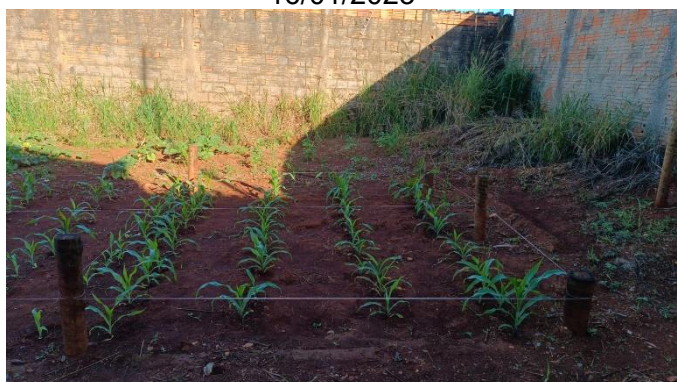
15/01/2023



16/01/2023



17/01/2023



18/01/2023



19/01/2023



21/01/2023



23/01/2023



25/01/2023



26/01/2023



27/01/2023



29/01/2023



30/01/2023



01/02/2023



02/02/2023



04/02/2023



05/02/2023



06/02/2023



08/02/2023



09/02/2023



11/02/2023



13/02/2023



15/02/2023



16/02/2023



20/02/2023



22/02/2023



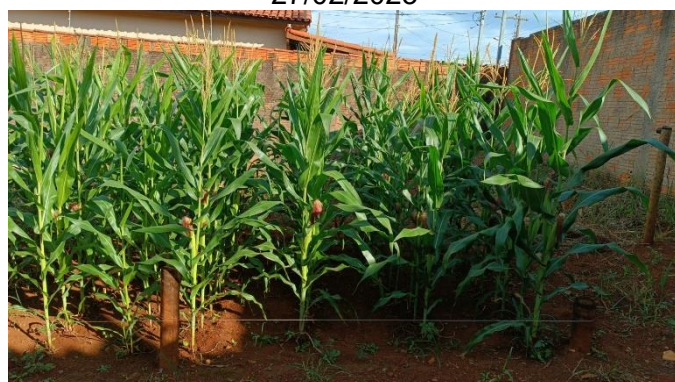
24/02/2023



27/02/2023



01/03/2023



03/03/2023



06/03/2023



08/03/2023



10/03/2023



20/03/2023

Outro fator que chama a atenção é que apesar dos tratamentos convencionais terem menor crescimento se comparado ao T6 no estágio inicial ao final da fase vegetativa, há um encontro das curvas de crescimento, porém as características das espigas não é a mesma (Tabelas 33 e 34).

Sendo assim, infere-se que o tratamento T6 ofereceu uma entrega de nutrientes para as condições estudadas mais proporcional ao requerimento nutricional das plantas se comparado com os demais no crescimento vegetativo final. Os dados corroboram com Magela (2017), que verificou as melhores alturas no milho, 35 dias após a emergência, utilizando torta de mamona de filtro, com dosagem de 60% da recomendação de P_2O_5 obtendo altura similar aos tratamentos com adubação mineral. Já Teixeira (2013) constatou no estudo com cana-de-açúcar, que os adubos organominerais mostraram diferenças estatísticas entre ausência ou não de fertilizantes minerais ou organominerais, mas não foi constatado diferenças entre os diferentes manejos de adubação, percebendo-se que o fertilizante organomineral teve eficiência semelhante ao fertilizante mineral para o primeiro corte da cana de açúcar.

Os resultados obtidos demonstrariam que a economia no plantio do milho seria consideravelmente superior, já que a dosagem de fertilizante mineral seria 50% menor além disso, diminuiria duas práticas mecanizadas na lavoura com a aplicação de cobertura no milho. Os resultados corroboram com Tiritan *et al.* (2010) que observaram que a aplicação de fertilizante organomineral no milho proporcionou eficiência em massa seca equivalente ou superior ao fertilizante mineral aos 45 dias após a emergência.

Tabela 33. Dimensões espigas de milho

Espigas com casca				Espigas sem casca			
Trat.	Comp. (cm)	Trat	Diâmetro (cm)	Trat.	Comp. (cm)	Trat.	Diâmetro (cm)
T8	20,83 ab	T8	4,83 ab	T10	14,25a	T8	4,03 a
T9	21,50 ab	T10	4,83 ab	T3	14,63a	T1	4,15 ab
T1	21,58 ab	T3	5,06 ab	T9	15,00a	T5	4,16 ab
T5	22,13 ab	T1	5,10 ab	T5	15,94a	T9	4,25 ab
T4	22,75 ab	T4	5,17 ab	T2	16,25a	T3	4,25 ab
T2	22,92 ab	T9	5,30 ab	T1	16,33a	T2	4,26 ab
T3	23,00 ab	T2	5,32 ab	T6	16,80a	T4	4,38 ab
T6	24,00 b	T7	5,53 ab	T4	17,00a	T6	4,40 ab
T7	24,29 b	T6	5,67 b	T7	17,64a	T7	4,68 b

**Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade; Fonte: Própria.*

Quanto as características das espigas (Figura 33), nota-se que houve variações entre os diferentes tratamentos de adubação (Tabela 33), com exceção do comprimento da espiga sem casca, na qual não diferiram entre si, diferindo apenas em relação ao diâmetro da espiga limpa.

Figura 33- Características das espigas

Tratamento fertilizado - Convencional

TRAT.

T1



T2



T3



Tratamento Fertilizado - Mamona

TRAT.

T4



T5



T6



Tratamento fertilizado - Gesso

TRAT.

T7



T8



T9



Verificou-se que o tratamento T7 apresentou crescimento vegetativo inferior aos tratamentos convencionais e briquetes de torta de mamona fertilizados, porém no que tange a qualidade da espiga, apresentou características muito parecidas com o tratamento T6 que apresentou maior crescimento vegetativo. O interessante é que foram utilizados apenas 50% da dosagem de calcário e de gesso agrícola com 100% da dosagem de fertilizantes para o mesmo. Apesar da produção da espiga ser comparável entre T6 e T7 a possibilidade de reduzir a aplicação de fertilizantes do T6 o torna mais competitivo, já que não há diferença estatística entre os dois tratamentos.

Porém, quando consideramos a atividade agrícola estudada que é a silagem de milho, um dos principais parâmetros ou talvez o mais importante é a produção de matéria úmida e seca, e nesse aspecto o tratamento T6 apresenta diferença estatística de todos os demais produzindo 74,2 ton.ha⁻¹ com 32% de matéria seca (tabela 34). Segundo Bruna (2020) estudando diferentes cultivares de milho para a produção de silagem, na cidade de Monte Carmelo, observou uma produtividade de 40,16 e 50,45 ton.ha⁻¹. Já Karine (2020) estudando diferentes sucessões com silagem de milho, na cidade de Rio Paranaíba, encontrou produtividade úmida de 43,93 a 79,43 ton ha⁻¹. Segundo Sementes Agrocere (2020) as produtividades médias brasileiras estão na ordem de 31,1 a 57,7 ton.ha⁻¹ corroborando com a maioria dos tratamentos testados, exceto o T6 que superou muito o valor de produtividade da silagem de milho.

Além das características dimensionais das espigas (Tabela 33) outro fator importante diz respeito ao peso médio das espigas (Tabela 34) onde os tratamentos apesar de diferirem numericamente não se diferiram estatisticamente entre si. Porém, se consideramos as dimensões das espigas (Tabela 34) e o fato de que houve maior produtividade do T6, infere-se uma quantidade maior de proteínas para a silagem, o que a tornaria mais nutricionalmente equilibrada e maior produtividade de grão.

Tabela 34. Dimensões espigas de milho e produção de silagem por área.

Trat.	Espigas/pé	Peso médio c/ casca (g)	Peso médio s/ casca (g)	Matéria Úmida (t.ha ⁻¹)	Matéria seca (t. ha ⁻¹)
T6	1,67	268,5a	168,2a	74,2a	23,75a
T5	1,33	254,38a	173,13a	55,2ab	17,11ab
T1	1	255,83a	185,83a	53,2ab	17,18ab
T3	1,33	254,38a	154,38a	51,7ab	17,25ab
T7	1,33	266,87a	185,63a	49,8ab	15,94ab
T2	1,00	272,5a	185,83a	49,2ab	16,00ab
T4	1	272,5a	189,17a	37,7b	11,30b
T9	1	255,83a	172,5a	32,35b	10,03b
T8	1	214,17a	155,83a	30,35b	10,01b

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade; Fonte: Própria.

Infere-se que o briquete utilizado no tratamento T6 supera as fontes de nitrogênio atualmente aplicadas comercialmente nas lavouras já que alguns trabalhos como de Valderrama *et al.* (2011) e Souza *et al.* (2011) demonstraram que alguns índices produtivos estudados não foram afetados quando utilizados as diferentes fontes de N testadas, demonstrando que nas 15 circunstâncias edafoclimáticas testadas, inclusive as fontes revestidas por polímeros e de liberação lenta não se demonstraram diferenças significativas se comparadas a ureia convencional (fonte mais utilizada de cobertura no Brasil juntamente com o sulfato de amônio).

Os dois fertilizantes estudados apresentaram vantagens, pois demonstraram potencial de aplicação de fertilizantes via briquetes como adubos de liberação lenta, uma vez que são capazes de produzir resultados similares ou até mesmo melhores se comparado aos encontrados com adubações exclusivamente minerais. Os bons resultados nos permitem inferir que os fertilizantes encapsulados na forma de briquete liberaram seus nutrientes de forma gradual e controlada (Severino *et al.*, 2004), permitindo uma diminuição na perda de nutrientes, tornando a dosagem disposta com maior aproveitamento e eficácia pelas plantas de milho, ou seja, supriu a demanda da planta ao longo do seu ciclo.

Outra característica desejável e possível de ocorrer com o uso deste tipo de fertilizante é o incremento da matéria orgânica no solo através da utilização da torta de mamona, ao contrário dos fertilizantes encapsulados com materiais sintéticos. Esse incremento somado ao uso consciente, pode permitir um incremento gradual da

fertilidade do solo, estabilização dos nutrientes e aumento da produtividade através da melhoria das propriedades químicas e físicas do solo (Pauletti *et al.*, 2003).

Além dos ganhos técnicos supracitados para o Tratamento T6, não se deve deixar de analisar a economia gerada pela redução de 50% em fertilizantes o que já representaria R\$ 1.000,00 ha⁻¹, além disso, indiretamente há outra economia considerável de R\$ 90,00 ha⁻¹ (Gomes *et al.*, 2021) com gastos com máquina agrícola para operações mecanizadas em atividades de aplicação em cobertura para a cultura. Outro aporte seria o ganho em produtividade se comparado ao convencional que no presente trabalho foi de 21 t.ha⁻¹ a um preço médio de R\$ 320,00 t⁻¹ (OLX, 2023) resultaria num lucro de R\$ 6.720,00 ha⁻¹. Somando todos os ganhos teríamos uma economia total de R\$ 7.810,00 há⁻¹. Infere-se claramente que haveria os gastos na fabricação do briquete com R\$ 2.624,00 (torta de mamona), R\$ 2.430,00 (adubo líquido), R\$ 500,00 (goma xantana) mais R\$ 1.200,00 (máquinas e encargos) totalizando R\$ 6.754,00 ha⁻¹ gerando um lucro por hectare de R\$ 1.056,00, desconsiderando os ganhos a longo prazo como, construção da fertilidade do solo, aumento do teor de matéria orgânica e ganhos biológicos, menor dependência externa de fertilizantes, dentre outras. Lembrando que os gastos foram calculados com base na aquisição de pequenas quantidades de materiais, inferindo-se que ao ganhar escala, o lucro por hectare poderia atingir patamares superiores a R\$ 2.500,00 ha⁻¹.

6. CONCLUSÕES

No que tange a primeira etapa (pré-testes) verificou-se que os aglutinantes farmacêuticos (sorbitol e glicerina) e o aglutinante inorgânico (gesso de construção) conferiram menor tempo de dissolução em água a 25 °C e menor número de quedas quando comparado aos aglutinantes alimentícios (gelatina, glucose, goma guar, goma xantana e goma arábica). Dentre os aglutinantes alimentícios, a goma arábica e a glucose apresentaram valores inferiores para os mesmos parâmetros em relação aos demais aglutinantes estudados. A goma xantana conferiu maior resistência mecânica ao briquete para os 2 parâmetros apresentados, além de menor custo relativo por cada grama do aglutinante. Quanto a segunda etapa (Briquetagem com goma xantana) o trabalho demonstrou ganhos consideráveis ao estudo de aglomeração de finos de calcário, uma vez que ao mesmo tempo que verificou uma menor resistência mecânica do briquete ligada a presença dos finos, apresentou um planejamento de misturas capaz de superar essa dificuldade de coesão entre partículas impondo uma nova realidade. Além disso, apresenta nos incipientes alimentícios uma nova fonte de estudos para melhorar e desenvolver briquetes que tenham alta resistência mecânica, boa solubilidade em água e mesmo assim apresentem custos compatíveis de produção. Observou-se que quanto a dissolução em água a 25 °C, num modelo estatístico quadrático, que os parâmetros: torta de mamona e calcário (linear) apresentaram diferença significativa dos demais quanto ao parâmetro estudado. Já a queda a 1,2 m para o mesmo nível de ajuste, teve como parâmetros significativos o calcário, o aglutinante e o adubo líquido (lineares) e calcário (quadrático). Dessa forma observou-se que quanto maior a quantidade de calcário, menor a resistência mecânica do briquete sendo o inverso para o adubo líquido e para o aglutinante. Essa nova tecnologia conseguiu produzir um fertilizante organomineral de inúmeras vantagens para o plantio de milho/silagem. Na etapa 3 (Testes agrônômicos em vasos) verificou-se que os tratamentos com briquetes constituídos apenas de torta de mamona e fertilizantes sem a presença de calcário, apresentaram melhores resultados se comparado com os demais tratamentos. Além disso, observou-se que o fato dos vasos estarem em condições atmosféricas, produziram efeitos negativos ao experimento sendo recomendado para testes futuros a implantação em casa de vegetação. Quanto a etapa 4 (Testes agrônômicos em

campo) os resultados demonstraram que o briquete composto por torta de mamona na dosagem de 50% de fertilizantes calculados para a cultura, produziu 74,2 ton.ha⁻¹ de massa úmida contra 53,2 ton.ha⁻¹ do tratamento convencional com 100% da dosagem de adubos. Considerando os ganhos com a diminuição na dosagem de fertilizantes e de produtividade, o briquete produziu um lucro de R\$ 1.056,00 ha⁻¹ com inúmeras vantagens esperadas, a exemplo, aumento de matéria orgânica do solo ao longo do tempo, melhoria da biota do solo, incremento da fertilidade e de cargas do solo. Sendo assim, o trabalho abre uma nova área de estudos para a produção de fertilizantes organominerais a serem testados para uma grande gama de culturas e ciclos diferentes, propondo um uso racional de fertilizantes e assim viabilizar a diminuição da dependência externa brasileira.

7. REFERÊNCIAS

- Abdelhedi O, Jridi M, Nasri R, Mora L, Toldrá F, Nasri M. Rheological and structural properties of Hemiramphus far skin gelatin: Potential use as an active fish coating agent. *Food Hydrocolloids*, v. 87, p. 331–34.2019.
- Abd-Elsamee M.O, Abdo ZMA.; Elmanylawi, M.A.F.; Salim, I.H. Use of crude glycerin in broiler diets. *Egyp. Poul. Sci.*, v.30, p.281-295. 2010.
- Acda, M. N.; Devera, E. E. Physico-chemical properties of wood pellets from forest residues. *Journal of Tropical Forest Science*. V.26, n.4, p. 589-595, 2014. Disponível em: <https://frim.gov.my/v1/jtfsonline/jtfs/v26n4/589-595.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2023.
- Adrien J, Meille S, Tadier S, Maire E, Sasaki I. In-Situ X-Ray Tomographic Monitoring of Gypsum Plaster Setting. *Cement and Concrete Research*, v. 82, p. 107-116. 2016.
- 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*. doi:10.1016/j.matpr. 2020.
- Agnieszka S., Ewa, S., Munish, K. G., Jolanta, B. K. Powder agglomeration processes of bulk materials – A state of the art review on different granulation methods and applications. *Revista Powder Technology*. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.119092>. Acesso em 05/12/2023.
- Agra, A. A.; Júnior, H. A. S.; Ruckert, M. F.; Oliveira, L, S.; Ferreira, F. B.; Flores, B. D.; Vilela, A. C. F. Avaliação da utilização de diferentes aglomerantes nas propriedades mecânicas de pelotas autorredutoras de pó de aciaria. Contribuição técnica ao 70º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 15º ENEMET – Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, parte integrante da ABM Week, realizada de 17 a 21 de agosto de 2015, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Alam NH, Meier R, Schneider H, Sarker SA, Bardhan PK.; Mahalanabis. D. Partially hydrolyzed guar gum-supplemented oral rehydration solution in the treatment of acute diarrhea in children. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*. 2000; 31(5):503-7. 2000.
- Alcarde, J.C. Fertilizantes. In: NOVAIS, R.F. *et al.* Fertilidade do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap.XII, p.737-768.

- Alderborn, G. Comprimidos e compressão. In: AULTON, M. E. (Ed.). Delineamento de Formas Farmacêuticas. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.
- Alves RC. Associação de fertilizantes de liberação controlada e remineralizador para produção de mudas de *Solanum diploconos* e *mimosa flocculosa*. [Tese de Doutorado]. Cutitiba-PR. Universidade Federal do Paraná. 2020.
- Alves VMC, Vasconcellos CA, Freire CA, Pitta GV, França GE, Filho AR, Araújo JM, Vieira JR, Loureiro JE. Milho. In: Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V., V. H. (Eds.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5. Aproximação. 2020. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p. 381-383.
- American Society for Testing and Materials. C28/C28M-10: standard specification for gypsum plasters. Pennsylvania. 2015.
- Aransiola, E.F.; Oyewusi, T.F.; Osunbitan, J.A.; Ogunjimi, L.A.O. - Effect of binder type, binder concentration and compacting pressure on some physical properties of carbonized corncob briquette - Energy Reports v. 5, 2019, p. 909–918.
- 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: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Campinas, 2005.
- Arranz, J. I.; Miranda, M. T.; Montero, I.; Sepúlveda, F. J.; Rojas, C. V. Characterization and combustion behaviour of commercial and experimental wood pellets in South West Europe. Fuel, Amsterdã: Elsevier, v. 142, p. 199-207, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236114010540?via%3Di> Acesso em: 22/12/2023.
- Azargohar, R.; Gerspacher, R.; Dalai, A. K.; Peng, D. Y. Co-gasification of petroleum coke with lignite coal using fluidized bed gasifier. Fuel Processing Technology, v. 134, p. 310–316, 2015.
- Barbosa, J. G. *et al.* Mineral nutrition and fertilization of ornamental plants. Informe Agropecuário, v. 30, n. 249, p. 16-21, 2009.

Barros MR. (2016). Caracterização e avaliação da utilização de aglomerantes orgânicos e inorgânicos na aglomeração de finos de calcário. [Dissertação de Mestrado]. Catalão GO. Universidade Federal de Catalão UFCA. 2016.

Bergamaschi H & Matzenauer . O milho e o clima. 2014. Porto Alegre: Emater/RS: ASCAR, 2014. p. 84.

Bernardo S, Mantovani EC, Silva DD, Soares AA. Manual de irrigação. 2019. 9. ed. Viçosa: Editora UFV.

Botha, S. A.; Lötter, A. P. 1990: Compatibility Study Between Oxprenolol Hydrochloride, Temazepam and Tablet Excipients using Differential Scanning Calorimetry Drug Development and Industrial Pharmacy 16(2): 331-345

Botha, S.A.; Lotter, A.P. 1989: Compatibility study between oxprenolol hydrochloride and tablet excipients using differential scanning calorimetry Drug Development and Industrial Pharmacy 15(11): 1843-1854

Brasil. Decreto Federal nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Poder Executivo, Brasília, DF. 2004.

Brasil. Decreto Federal nº 8059, de 26 de julho de 2013. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Poder Executivo, Brasília, DF. 2013a.

Brasil. Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. (Redação dada pelo Decreto nº 8.384, de 2014). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm. Acesso em: 4 jul. 2023.

Brasil. Decreto Nº 8.384, de 29 de dezembro de 2014. Altera o Anexo ao Decreto no 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Disponível em:

<https://legis.senado.leg.br/norma/413996#:~:text=ALTERA%20O%20ANEXO%20AO%20DECRETO,OU%20BIOFERTILIZANTES%20DESTINADOS%20A%20AGRICULTURA>. Acesso em: 10/02/2024.

Brasil. Instrução Normativa nº 35, de 04 de julho de 2006. Aprova as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados a agricultura D.O.U., 12/07/2006 – Seção 1. 2006.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos. Brasília: MAPA; 2017.

Bruna, B.O.S. Avaliação fenológica de diferentes cultivares de milho destinados à produção de silagem. [Trabalho de Conclusão de Curso]. Monte Carmelo MG. Faculdade de Ciências Humanas e Sociais da Fundação Carmelitana Mário Palmério – FUCAMP. 2020.

Carasek, H., Girardi, A. C. C., Araújo, R. C., Angelim R., Cascudo, O. Estudo e avaliação de agregados reciclados de resíduo de construção e demolição para argamassas de assentamento e de revestimento. Cerâmica, vol. 64, 2018. pp. 288-300.

Carvalho EA & Brinck V. Aglomeração – Parte I: Briquetagem. In: Luz AB, Sampaio JA, França SCA. Tratamento de Minérios, Edição 5ª. Rio de Janeiro, CETEM/MCT. 2010.

Carvalho, E. A.; Brinck, V.; Campos, A. R. Aglomeração: Briquetagem. In: Tratamento de minérios. 6.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018. Cap.15.1, p.651- 674.

Carvalho, I. Q.; Jobim, C. C.; Damasceno, J. C. Tecnologia da produção de silagem de milho em sistemas de produção de leite. Maringá, PR: Universidade Estadual de Maringá – Centro de Ciências Agrárias, 2013. 96 p.

Carvalho, R. M. de. Avaliação da silagem de milho em fazendas leiteiras de Patos de Minas, MG. 2016. 49 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG. 2016.

Chien, S.H. *et al.* Recent developments of fertilizer production and use to increase nutrient efficiency and minimize environmental impacts. *Advances in Agronomy*. v. 102, p. 261-316, 2009.

Coelho AM, Cruz JC, Pereira FIA. Exigências nutricionais e adubação do milho silagem. 2020. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 10 p.

Costa, C. P. N.; Brezolin, L. Um olhar empresarial na produção de leite. *Janus, Lorena, SP*, v. 10, n. 17, 2014.

Cruz JC, Magalhães PC, Pereira FIA, Moreira JAA. Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2011. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.

CUNHA, F. L.; NIERI, E. M.; SANTOS, J. A. dos; ALMEIDA, R. S. de; MELO, L. A. de; VENTURIN, N. Uso dos adubos de liberação lenta no setor florestal. *Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo*, v. 41, e201902063, p. 1-11, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4336/2021.pfb.41e201902063>.

Deminics, B. B.; Vieira, H. D.; Jardim, J. G.; Araújo, S. A. C.; Chambela, N.A.; Oliveira, V. C.; Lima, E. S. Silagem de milho – Características agronômicas e considerações. *Revista Electrónica de Veterinária, Málaga, Espanha*, v. 10, n. 2, p. 1-18, 2009

Demirkesen I, Mert B, Sumnu G, Sahin S. Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*. v. 96, p.295-303, 2010.

Dias, J. M. C. S. *et al.* Produção de briquetes e paletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2012.

Dozier WA, Kerr BJ, Corzo A. Apparent Metabolizable Energy of Glycerin for Broiler Chickens. *Poultry Sci.*, v.87, p.317-322. 2008.

Eftting, C. - Aglomerantes. *Materiais de Construção I - UDESC - Centro de Ciências Tecnológicas Departamento de Engenharia Civil*, Joinville, 2014

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. (2015). Milho em números (safra 2013/2014). Londrina.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. (2017). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 3.ed. Rio de Janeiro, 2017. 574p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. 2022. Cultivo do milho.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Cultivo do milho. 9ª edição. Embrapa Milho e Sorgo. 2015. Sistema de Produção, ISSN 1679-012X.Nov/2015. Sete Lagoas-MG.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2013. 3ª ed. Brasília, 353p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. 2009. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA. 627 p.

Faquin V. Nutrição mineral de plantas. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 186p

Feeco Internacional – The Agglomeration Handbook, Green Bay, USA. 2018.

FERNANDES, M. S. Nutrição Mineral de Plantas. 1. ed. Viçosa: UFV, 2006. 432 p. (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo).

Ferreira GDG, Barrière Y, Emile J, Jobim CC, Almeida OC. Valor nutritivo da silagem de dez híbridos de milho. Acta Scientiarum. Animal Sciences. 2011. v. 33, n. 3, p. 255-260.

Gabas VGS. & Cavalcanti, O. A. Influência da adição da goma arábica em filmes isolados de polímero acrílico. Estudo das propriedades de intumescimento e de permeabilidade. Rev. Bras. Cienc. Farmac., v. 39, n. 4, p. 441- 448. 2003.

Gelatin Manufacturers Institute of America. Gelatin handbook. p. 3 – 22. 2012.

Godoi, C. R.; Silva, E. F. P. Silagem de milho como opção de volumoso aos ruminantes. PUBVET, Londrina, PR, v. 4, n. 14, ed. 119, art. 808, 2010.

Gomes LR, Cósmem AS, Silva MA, Laís KMM, Borges F, Oliveira LM. Estudo econômico da produção de milho de silagem no Sudeste de Goiás. Universidade Estadual de Goiás. Ipameri-GO. 2021.

Grandim, F.H. Compacting and Briquetting in environmental technology applications. *Powder Handling & Processing*, v. 6, n. 1, jan/march, 1994.

Gupta VK.; Bechert TE, Deusch NJ, Hariharan M, Price JC.; Investigation of Potential Ionic Interactions Between Anionic and Cationic Polymethacrylates of Multiple Coatings of Novel Colonic Delivery System. *Drug Dev. Ind. Pharm*, New York, v. 28, p. 207-215, 2002.

Howell TA, Evett SR. The Penman-Monteith method. Section 3 in *Evapotranspiration: Determination of Consumptive Use in Water Rights Proceedings*. Continuing Legal Education in Colorado, Inc. Denver, CO. 2004.

Huang T, Tu Z, Shangguan X, Wang H, Sha X, Bansal N. Rheological behavior, emulsifying properties and structural characterization of phosphorylated fish gelatin. *Food Chemistry*, v. 246, p. 428-436. 2018.

lal. Instituto Adolfo Lutz. Normas analíticas: métodos químicos e físicos de composição de alimentos. 5 ed. São Paulo, 2008.

Jobim CC, Nussio LG, Reis RA. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2007. v.36, suplemento especial, p.101- 119.

Jobim, C. C., & Nussio, L. G. (2013). Princípios básicos da fermentação na ensilagem. In: Reis, R. A., Bernardes, T. F.; Siqueira, G. R. *Forragicultura: Ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros*. Jaboticabal-SP: FUNEP, 649-660.

Jobim, C. C., Nussio, L. G., Reis, R. A., & Schmidt, P. (2007). Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 101-119. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982007001000013>.

Jobim, C. C.; Branco, A. F.; Gai, V. F. Qualidade de forragens conservadas versus produção e qualidade do leite de vacas. In: SIMPÓSIO SOBRE SUSTENTABILIDADE DA PECUÁRIA LEITEIRA NA REGIÃO SUL DO BRASIL, 2., 2002, Maringá, PR. Anais... Maringá, PR, 2002. p. 98-122.

Karine Y LS. Plantas de cobertura e seus efeitos nos atributos físicos de latossolo vermelho-amarelo cultivado com milho e na fitossociologia de plantas daninhas. [Dissertação mestrado]. Rio Paranaíba - MG. Universidade Federal de Viçosa. 2020.

Karsa DR, Stephenson RA. Excipients and delivery systems for pharmaceutical formulations. Cambridge: The Royal of Chemistry. p.1-34. 2000.

Kiosseoglou A, Papalamprou E, Makri E, Doxastakis G, Kiosseoglou V. Functionality of médium molecular weight xanthan gum produced by *x. campestris atcc1395* in batch culture. Food Research International, 36, 425-430. 2003.

Koppert Group. Briquetting with Roller Presses. Disponível em: <http://www.koepperninternational.com>. Published 07/2023.

Lachman, L.; Lieberman, H. A.; Kanig, J. L. Teoria e prática na indústria farmacêutica. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, v. 2, 2001.

Lehninger AL. & Cox MM. Princípios de Bioquímica. 6a. ed., ARTMED: Porto Alegre. 2014.

Lima IS, Ferreira CC, Antônio ATCS, Célio CF, Lucrécia MGR.; Moreira, A.C. Cover plants and mineral nitrogen: effects on organic matter fractions in an oxisol under no-tillage in the cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, n.6, p. 1874-1881. 2014.

Lopes AS. Micronutrientes: filosofias de aplicação, fontes, eficiência agrônômica e preparo de fertilizantes. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p. 357-390

Ludmila Vesjolaja. Dynamics and Control for Efficient Fertilizer Processes. University of South-Eastern Norway Faculty of Technology, Natural Sciences and Maritime Studies. Doctoral dissertation no. 105. 2021 <https://openarchive.usn.no/usn-xmlui/handle/11250/2785938>

Luz AB, Sampaio JA, França SCA. Tratamento de Minérios – 5ª Edição, Rio de Janeiro: CETEM/MCT.2010.

Machado VJ. Resposta da cultura do milho aos fertilizantes fosfatados e nitrogenados revestidos com polímeros. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia]. Uberlândia/MG. 72f. 2012.

Magalhães, Arthur Santos; SILVA, Tiago Miguel Martins; CASTRO, Vinícius Gomes. Produção e caracterização de briquetes a partir de resíduos sólidos e prensagem semimanual. Advances in Forestry Science, v. 6, n. 3, p. 705-710, 2019.

- Magela MLM. Fontes de matéria orgânica na composição de fertilizantes organominerais peletizados na cultura do milho. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Uberlândia MG. Universidade Federal de Uberlândia. 2017. 70 p.
- Malavolta E, Favarin JL, Malavolta M, Cabral CP, Heinrichs RSJSM. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 2002. v.37, p.1.017-1.022. Brasília.
- Malavolta E. Manual de nutrição de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- Mapa – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa MAPA no 5, 10/03/2016. Publicada no DOU de 14/03/2016.
- Marinho DY. Produção de adubos de liberação lenta utilizando a briquetagem de finos de calcário e melado de cana: estudos iniciais. [Dissertação de Mestrado]. Catalão GO. Universidade Federal de Goiás. 2019.
- Marques, H. M. C.; Romagnoli, T.; Fraga, J., E. F.; Paiva, R. F.; Mauri, R. Desenvolvimento inicial do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), com doses de co-polímero hidroabsorvente em adubação convencional e de liberação controlada. Enciclopédia Biosfera, v. 9, p. 2994-3002, 2013.
- Marschner H. Mineral nutrition of higher plants. 2 ed. Orlando: Academic Press, 2005. 889 p. 2 ed. Orlando: Academic Press. 889 p. 2005.
- Mudgil D, Barak S, Khatkar BS. Guar gum: processing, properties and food applications—A Review. Journal of Food Science & Technology 51, 409–418.2014.
- 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. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-537.
- Nunes FN, Alves NB, José MC, Soares AAJ, Moreira HR. Desempenho da produtividade de espigas de milho verde sob diferentes regimes hídricos. Revista Brasileira de Milho e Sorgo. 2017. v.16, n.1, p. 94-108. ISSN 1676-689X / Versão on line ISSN 1980-6477.
- Nussio LG, Campos FP, Dias FN. Importância da qualidade da porção vegetativa no valor alimentício da silagem de milho. In: Simpósio Sobre Produção e Utilização de

Forragens Conservadas. Maringá-PR. Anais... UEM/CCA/DZO, Maringá.2001. v.1, p.127-145.

Oliveira DP. Fontes de matéria orgânica para a formulação de fertilizantes organominerais pelotizados no desenvolvimento da cultura do sorgo. [Dissertação de Mestrado]. Uberlândia MG. Universidade Federal de Uberlândia.2016. 46 p.

OLX..Patos de Minas MG. Site OLX. Palavras chave: Silagem de milho em PATOS de Minas. Acesso em 23/05/2023 .Disponível em: <https://mg.olx.com.br/regiao-de-uberlandia-e-uberaba/agro-e-industria/producao-rural/silagem-de-milho-em-patos-de-minas-969411853>.

Pauletti V, Lima MR, Barcik C, Bittencourt A. Rendimento de grãos de milho e soja em uma sucessão cultural de oito anos sob diferentes sistemas de manejo de solo e de culturas. Ciência Rural.2003. Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 491 495.

Pavinato PS, Ceretta CA. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. Ciências Rural. 2004. Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1779-1784.

Resende AV, Gutiérrez AM, Silva CGM, Almeida GO, Guimarães PEO, Moreira SG, Gontijo NMM. Requerimentos nutricionais do milho para a produção de silagem. Embrapa Milho e Sorgo. 2016. Sete Lagoas. 12 p.

Rodella, A. A.; Alcarde, J. C. Requisitos de qualidade dos fertilizantes naturais. 1. ed. Piracicaba: IPNI, 2018.

Rodríguez JMB, Flores EA, Lizarazo CM, Bonilla ELAPG, Gutierrez LMX, Carvajal Q. Moisture adsorption isotherms of the borojó fruit (*Borojoa patinoi*. Cuatrecasas) and gum arabic powders. Food and Bioproducts Processing, v. 94, p. 187-198. 2015.

Rossa, U. B.; Angelo, A. C.; Nogueira, A. C.; Reissmann, C. B.; Grossi, F.; Ramos, M. R. Fertilizante de liberação lenta no crescimento de mudas de Araucária angustifolia e Ocotea odorifera. Floresta, Curitiba, PR, v. 41, n. 3, p. 491 - 500, 2011.

Sementes Agrocere. Manual de silagem. In: GUIA de campo sementes Agrocere milho e sorgo: silagem. 2020.

Serrano, L. A. L. *et al.* Sistema de blocos prensados e doses de adubo de liberação lenta na formação de porta enxerto cítrico. Ciência Rural, v. 36, n. 2, p. 441-447, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000200013>

Severino LS, Costa FX, Beltrão NEM, Lucena MA, Guimarães MMB. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. *Revista Biológica e Ciências da Terra*. 2004. Campina Grande. v. 5, n. 1, p. 1-5.

Shaviv, A. Advances in controlled release of fertilizers. *Advances in Agronomy*, v. 71, p. 1-49, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113\(01\)71011-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(01)71011-5).

Silva, L. P. Estudo da Utilização de Coluna de Flotação nas Etapas Cleaner e Recleaner de Concentração de Minério Fosfático. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2013.

Sławomir, F., Adrian, K. Artur, K., Renata, F. Decision Support System for the Production of Miscanthus and Willow Briquettes. *Revista Energys*. Volume 13 Issue 6 <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/6/1364>

Soares AM. Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desempenho da cultura de milho (*Zea mays* L.). [Tese de Doutorado]. Piracicaba. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 2003.

Souza ECA. *et al.* Respostas do milho à adubação com fósforo e zinco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 1998. v. 33, p. 1031-1036.

Souza JA, Buzetti S, Teixeira FMCM, Andreotti M, Sá ME.; Arf, O. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha irrigado em plantio direto. 2011. *Bragantia*, Campinas, v. 70, n. 2, p. 447- 454.

Souza LFRA, Marinho RWD, Nunes FM, Costa NB, Nascimento IO, Silva WA. Incubação de Argissolo Vermelho Amarelo distrófico com aplicação de doses crescentes de CaCO_3 para neutralização da acidez trocável. *Agro ecossistemas*. 2014. Belém, v. 6, n. 1, p. 66-73, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v6i1.1847>

Strategic Report. Controlled release fertilizers market: global market estimation, dynamics, regional share, trends, competitor analysis 2012 to 2016 and rorecast 2017 to 2023. *Precision Business Insights*, n. 151, 2017. Disponível em: <https://decisionmarketreports.com/market-reports/858975/controlledreleasefertilizers-market> . Acesso em: 17 set. 2023.

Teixeira WG (2013). Biodisponibilidade de fósforo e potássio provenientes de fertilizantes mineral e organomineral. [Dissertação de Mestrado em Agronomia]. Uberlândia MG. Universidade Federal de Uberlândia.2013. 115 p.

Thoms, L.J.; Snape, C.E.; Taylor, D. Physical characteristics of cold cured anthracite/coke breeze briquettes prepared from a coal tar acid resin. *Fuel*, v. 78, nov., p. 1691-1695, 1999.

Tiritan CS, Santos DH, Foloni JSS, Júnior RA. Adubação fosfatada mineral e organomineral no desenvolvimento do milho. *Colloquium Agrariae*. 2010. Presidente Prudente, v. 6, n. 1, p. 08-14.

Trenkel, M. Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture. 2nd ed. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 163 p.

Tuinier R, Tem GE, Kruif CG. The effect of depolymerised guar gum on the stability of skim milk. *Food Hydrocolloids*, v. 14, n. 1, p. 1-7. 2000.

Ulusal, A.; Avsar, C. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, Vol. 34 No. 4, 2020. *Revista Chemical and Biochemical Engenieering Quarterly*. <https://hrcak.srce.hr/251479>

Valderrama M, Buzetti S, Benett CGS, Andreotti M, Teixeira FMCM. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 2011. Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263.

Valderrama M, Buzetti S, Carvalho MMTF, Gredson CSB, Andreotti M. Nitrogen fertilization in corn with urea coated with different sources of polymers. *Rev. Ciências Agrárias*.2014. v.35, n.2, p.659-670. Londrina.

Vergütz L, Novais RF, Valadares RV. Recomendação de Corretivos e Adubação. In: Galvão, J. C. C.; Borém, A.; Pimentel, M. A (ed.). *Milho do Plantio à Colheita*. 2017. 2ª ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. Cap. 5. p. 107-138.

Waraich, E. A. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Australian Journal of Crop Science*, v. 5, n. 6, p. 764-777, 2011.