



TATIANA VILELA CARVALHO

**REDUÇÃO DE EMISSÃO DE AMÔNIA PELA CAMA DE
AVIÁRIO POR MEIO DA INCORPORAÇÃO DE
KAMAFUGITO E REJEITO DE QUARTZITO E O IMPACTO
NA QUALIDADE DO COMPOSTO ORGÂNICO**

**LAVRAS – MG
2024**

TATIANA VILELA CARVALHO

**REDUÇÃO DE EMISSÃO DE AMÔNIA PELA CAMA DE AVIÁRIO POR MEIO DA
INCORPORAÇÃO DE KAMAFUGITO E REJEITO DE QUARTZITO E O IMPACTO
NA QUALIDADE DO COMPOSTO ORGÂNICO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroquímica, área de concentração em Química/Bioquímica, para a obtenção do título de Doutora.

Prof.^a Dr.^a Adelir Aparecida Saczk
Orientadora

Prof. Dr. Eder de Souza Martins
Coorientador

**LAVRAS – MG
2024**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Carvalho, Tatiana Vilela.

Redução de emissão de amônia pela cama de aviário por meio da incorporação de Kamafugito e rejeito de quartzito e o impacto na qualidade do composto orgânico/ Tatiana Vilela Carvalho. - 2024.

104p.: il.

Orientadora: Adelir Aparecida Saczk.

Coorientador: Eder De Souza Martins.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Emissão de Amônia. 2. Cama de Aviário 3. Esterco de Galinha. 4. Fertilizantes. 5. Compostagem. I. Saczk, Adelir Aparecida. II. Martins, Eder de Souza. III. Título

TATIANA VILELA CARVALHO

**REDUÇÃO DE EMISSÃO DE AMÔNIA PELA CAMA DE AVIÁRIO POR MEIO DA
INCORPORAÇÃO DE KAMAFUGITO E REJEITO DE QUARTZITO E O IMPACTO
NA QUALIDADE DO COMPOSTO ORGÂNICO**

**REDUCTION OF AMMONIA EMISSIONS BY POULTRY LITTER THROUGH THE
INCORPORATION OF KAMAFUGITE AND QUARTZITE TAILINGS AND YOUR
IMPACT ON ORGANIC COMPOST QUALITY**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Agroquímica,
área de concentração em Química/Bioquímica,
para a obtenção do título de Doutora.

APROVADA em 02 de agosto de 2024.

Dr. André Geraldo Cornélio Ribeiro	DAM/EENG/UFLA
Dr. Antônio Gilberto Bertechini	DZO/FZMV/UFLA
Dr. Fabiano Magalhães	DQI/ICM/UFLA
Dr. Giuliano Marchi	EMBRAPA

Prof.^a Dr.^a Adelir Aparecida Saczk
Orientadora

Prof. Dr. Eder de Souza Martins
Coorientador

**LAVRAS – MG
2024**

À toda minha família pelo apoio e compreensão em todas as etapas de estudo. Aos meus filhos Lucas e Maria Luísa, meu esposo Rander por ser meu porto seguro e à minha mãe Lúcia.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus.

À UFLA, por meio do Departamento de Química e todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agroquímica.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

A minha orientadora Prof.^a Dr.^a Adelir Aparecida Saczk por toda paciência, orientação e ensinamentos nesses anos de estudo.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Eder de Souza Martins por todas as informações e direcionamentos na pesquisa.

Agradeço a minha família pelo incentivo e compreensão.

Muito obrigada!

“Nenhum de nós é tão bom quanto todos nós juntos”.

(Blanchard Kenneth H.)

RESUMO

A alta concentração de amônia nos galpões de aviários é resultado da decomposição microbiana dos dejetos. Em uma granja de postura foi conduzido um estudo para avaliar a redução de amônia no ambiente, utilizando o remineralizador kamafugito e o rejeito de quartzito como aditivos na cama de aves de maravalha. Os aditivos foram adicionados durante a etapa de posturas das aves. Para tal, primeiro a amônia volátil (AV) foi analisada em relação às médias de temperatura (T) com cortinas abertas e cortinas fechadas. Verificou-se que com cortinas fechadas a concentração de AV no ambiente é maior. As médias de T e AV foram 23,6°C e 7,5 ppm com cortinas abertas e 16,7°C e 17ppm com cortinas fechadas. Adotou-se a análise dos dados com cortinas fechadas, por não ter influência do vento no ambiente e por ser a etapa mais crítica em relação à emissão de amônia. Foi realizado um experimento em delineamento inteiramente casualizado em triplicata, para avaliar a AV com monitoramento da T, sendo os tratamentos: (T1) cama de aviário de maravalha; (T2) cama de aviário de maravalha com adição de 23% de pó de quartzito (malha) #200 e (T3) cama de aviário com maravalha e adição de 23% de pó de kamafugito #200. A média de T durante esta etapa foi de 19°C, verificou-se que não houve diferença significativa nos resultados para AV nos tratamentos: T1-7,80 ppm; T2 - 6,80 ppm e T3 -7,70 ppm. No entanto os resultados nos três tratamentos demonstraram a eficácia na redução de amônia no ambiente com os aditivos utilizados. Os níveis AV ficaram dentro dos níveis aceitáveis, até 10 ppm, e mais baixos que na primeira etapa de análise, na qual a AV com cortinas fechadas foi de 17ppm em T média de 16,7°C. Após a retirada das galinhas do galpão, iniciou-se a segunda etapa do trabalho; compostagem dos resíduos da cama de aviário e avaliação da qualidade do composto orgânico formado. Foram analisados quatro tratamentos distintos na cama de frango com maravalha: Tratamento controle realizado na granja; T1 sem aditivos; T2 adição de 23% de pó de quartzito; T3 adição de 23% de kamafugito; e T4 combinação de 33% de kamafugito e 33% de quartzito, este último adicionado após a fase de postura das aves, no início da compostagem. Cada tratamento foi realizado em triplicata e, a cama foi submetida à compostagem por 110 dias. Observou-se um aumento significativo nos níveis de nitrogênio, com T1, T2, T3 e T4 registrando aumentos de 56%, 77%, 217% e 24%, respectivamente. O T3 se destacou, apresentando o maior aumento de N, atingindo 6,28%, um aumento de 308% em relação ao Tratamento controle (1,54%). Conclui-se na pesquisa que os aditivos usados com maravalha reduziram a emissão de amônia em galpões com pouca ventilação, e melhoraram a qualidade nutricional dos compostos orgânicos formados, após a compostagem da cama de aviário.

Palavras-chave: esterco de galinha; compostagem; fertilizante; coproduto; subproduto; agrominerais.

ABSTRACT

The high concentration of ammonia in poultry houses is a result of the microbial decomposition of waste. On a laying farm, a study was conducted to evaluate the reduction of ammonia in the environment, using the kamafugite remineralizer and quartzite waste as additives in sawdust poultry litter. The additives were added during the birds' laying stage. To this end, first volatile ammonia (VA) was analyzed in relation to the temperature averages (T) with curtains open and curtains closed. It was found that with closed curtains the concentration of AV in the environment is higher. The T and AV averages were 23.6 °C and 7.5 ppm with open curtains and 16.7°C and 17 ppm with closed curtains. Data analysis was adopted with closed curtains, as there was no influence of wind on the environment and because it was the most critical stage in relation to ammonia emissions. An experiment was carried out in a completely randomized design in triplicate, to evaluate AV with monitoring of T, with the treatments being: (T1) sawdust poultry litter; (T2) poultry litter with sawdust with addition of 23% quartzite powder mesh #200 and (T3) poultry litter with sawdust and addition of 23% kamafugite powder #200. The average T during this stage was 19°C, it was found that there was no significant difference in the results for AV in the treatments: T1-7.80 ppm; T2 - 6.80 ppm and T3 -7.70ppm. However, the results in the three treatments demonstrated the effectiveness in reducing ammonia in the environment with the additives used. AV levels were within acceptable levels, up to 10 ppm, and lower than in the first stage of analysis, in which AV with curtains closed was 17 ppm at an average T of 16.7°C. After removing the chickens from the shed, the second stage of work began: composting poultry litter waste and evaluating the quality of the organic compound formed. Four different treatments on chicken litter with sawdust were analyzed: T0 (no control); T1 (control) without additives; T2 adding 23% quartzite powder; T3 addition of 23% kamafugite; and T4 combination of 33% kamafugite and 33% quartzite, the latter added after the birds lay, at the beginning of composting. Each treatment was carried out in triplicate and the bed was composted for 110 days. A significant increase in nitrogen levels was observed, with T1, T2, T3 and T4 recording increases of 56%, 77%, 217% and 24% respectively. T3 stood out, presenting the largest increase in N, reaching 6.28%, an increase of 308% in relation to T (1.54%). The research concluded that the additives used with sawdust reduced ammonia emissions in sheds with poor ventilation and improved the nutritional quality of the organic compounds formed after composting poultry litter. It is recommended to use the remineralizing additives kamafugite and quartzite waste in sawdust.

Keywords: chicken manure; composting; fertilizer; co-product; by-product; agrominerals.

INDICADORES DE IMPACTO

A pesquisa focou na redução da alta concentração de amônia, resultante da decomposição microbiana dos dejetos, utilizando aditivos como kamafugito e rejeito de quartzito na cama de maravalha das aves. A análise da amônia volátil (AV) sob diferentes condições de ventilação revelou que, com as cortinas fechadas, os níveis de AV aumentaram significativamente, alcançando médias de 17 ppm, enquanto que com as cortinas abertas, a média foi de 7,5 ppm. Isso demonstra a importância do controle ambiental para a saúde dos trabalhadores e o bem-estar animal. Os tratamentos experimentais mostraram eficácia na redução da amônia, alcançando níveis aceitáveis, o que indica potencial para melhorar as condições de trabalho em galpões avícolas, onde a exposição a altas concentrações de amônia pode prejudicar a saúde dos operários. Adicionalmente, a fase de compostagem dos resíduos apresentou aumentos notáveis nos níveis de nitrogênio, com o tratamento que utilizou kamafugito alcançando um incremento de 308% em relação ao controle. Isso não apenas melhora a qualidade do composto orgânico, mas também pode impactar economicamente a granja ao potencializar a fertilidade do solo e reduzir a necessidade de insumos químicos. Essa prática representa um avanço tecnológico que promove uma agricultura mais sustentável e culturalmente responsável, ao incentivar métodos que respeitam a natureza e potencializam a produção com a utilização de recursos locais e regionais. Meio ambiente e saúde são áreas temáticas da extensão, e o consumo e produção responsáveis, além da ação contra a mudança global do clima, são objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) da ONU impactados. Os resultados reforçam a importância de soluções inovadoras no manejo de resíduos e no fortalecimento da economia local, contribuindo para uma produção avícola mais sustentável e socialmente responsável, além de promover a conscientização sobre a saúde ambiental e dos trabalhadores envolvidos.

IMPACT INDICATORS

The research focused on reducing the high concentration of ammonia, resulting from the microbial decomposition of waste, using additives such as kamafugite and quartzite tailings in the wood shavings of birds. The analysis of volatile ammonia (VA) under different ventilation conditions revealed that, with the curtains closed, the VA levels increased significantly, reaching averages of 17 ppm, while with the curtains open, the average was 7.5 ppm. This demonstrates the importance of environmental control for workers' health and animal welfare. The experimental treatments showed efficacy in reducing ammonia, reaching acceptable levels, which indicates potential to improve working conditions in poultry houses, where exposure to high concentrations of ammonia can harm the health of workers. In addition, the composting phase of the waste showed notable increases in nitrogen levels, with the treatment that used kamafugite achieving an increase of 308% in relation to the control. This not only improves the quality of organic compost, but can also economically impact the farm by enhancing soil fertility and reducing the need for chemical inputs. This practice represents a technological advance that promotes a more sustainable and culturally responsible agriculture, by encouraging methods that respect nature and enhance production with the use of local and regional resources. Environment and health are thematic areas of the extension, and responsible consumption and production, in addition to action against global climate change, are UN sustainable development goals (SDGs) impacted. The results reinforce the importance of innovative solutions in waste management and in strengthening the local economy, contributing to a more sustainable and socially responsible poultry production, in addition to promoting awareness about environmental health and the workers involved.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

Figura 1 - Galpão com as galinhas do experimento mostrando a cama de aviário de maravalha.....	43
Figura 2 - Galpão da Granja	46
Figura 3 - Materiais utilizados nos experimentos da cama de aviário. (A) Pó de quartzito (B) Kamafugito.....	47
Figura 4 - Divisão do galpão para tratamentos da cama de aviário.	48
Figura 5 - Relação entre Dias e Amônia Volátil com Linha de Regressão Linear e Barras de Erro.	54
Figura 6 - Relação entre Dias e Temperatura com Curva de Regressão Polinomial e Barras de Erro.	55
Figura 7 - Relação entre Dias e pH com Curva de Regressão Polinomial e Barras de Erro.	57
Figura 8 - Relação entre Dias e Umidade com Linha de Regressão Linear e Barras de Erro.	58

ARTIGO 2

Figura 1 - Imagem do galpão de posturas.....	72
Figura 2 - Galpão interno com as galinhas poedeiras.....	73
Figura 3 - Divisão do galpão para tratamentos da cama de aviário.....	74
Figura 4 - Montagem das pilhas de compostagem e retirada de amostra controle.....	75
Figura 5 - Comportamento da temperatura ao longo do tempo de compostagem. T1 (controle) sem aditivos; T2 com adição de pó de quartzito (23%); T3 com adição de kamafugito (23%); e T4 combinando kamafugito e quartzito (33% cada).....	81

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

Tabela 1 - Estudo de aditivos para diferentes tratamentos de cama de aviário.	24
Tabela 2 - Regulamentações de Fertilizantes orgânicos e remineralizadores de solo.....	34
Tabela 3 - Classificação dos Fertilizantes Orgânicos Simples, Mistos, Compostos e Organominerais.	35

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

Tabela 1 - Composição dos tratamentos com a composição da cama no aviário e distribuição nas áreas do galpão.	49
Tabela 2 - Comparação das médias (ou medianas) de amônia volátil e temperatura entre cortinas abertas e fechadas, com suas respectivas estatísticas (t/W) e p-valores.	51
Tabela 3 - Médias de Amônia Volátil (ppm) e Temperatura (°C) por Tratamento, com Estatísticas F da ANOVA (cortinas fechadas).	52
Tabela 4 - Resultados do Teste de Kruskal-Wallis para Comparação das Temperaturas entre Tratamentos.	53
Tabela 5 - Resultados do Teste de Kruskal-Wallis para pH e Umidade entre os Tratamentos.	56

ARTIGO 2

Tabela 1 - Composição da cama no aviário por área antes da fase de postura.....	73
Tabela 2 - Composição dos tratamentos na preparação das pilhas para compostagem.	75
Tabela 3 - Métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos.	78
Tabela 4 - Teores mínimos de nutrientes e outras garantias para fertilizantes orgânicos simples sólidos (IN) nº 61 (MAPA SDA)	79
Tabela 5 - Resultados das análises de N, Ca e C/N dos tratamentos e épocas comparados por variáveis.	83
Tabela 6 - Resultados das análises físico-químicas nos tratamentos.	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ANOVA	Análise de variância
AV	Amônia Volátil
AH	Ácidos Húmicos
AF	Ácidos Fúlvicos
Al	Alumínio
Al ⁺ Clear	Sulfato de Alumínio
Al ₂ O ₃	Óxido de Alumínio
B	Boro
Ca	Cálcio
CaMgSi ₂ O ₆	Diopsídio
CaO	Óxido de Cálcio, Cal virgem
CaSiO ₃	Wollastonita
CaSO ₄	Gesso Agrícola
CE	Condutividade Elétrica
CF	Composto Final
C/N	Relação Carbono Nitrogênio
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO	Carbono Orgânico
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
Cu	Cobre
CV	Coefficiente de Variação
Cwa	Clima Tropical de Altitude
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
DF	Dejetos Frescos
FGDG	Gesso Dessulfurador de Gases de Combustão
Fe	Ferro
Ferix-3	Sulfato Férrico
IN	Instrução Normativa
K	Potássio
Mg	Magnésio
MgO	Óxido de magnésio
mL	Mililitro
Mn	Manganês

M. O.	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
Na	Sódio
Na ₂ O	Óxido de Sódio
NH ₃	Amônia
NH ₄ ⁺ -N	Nitrogênio Amoniacal
NS	Não significativo
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PLT	Tratamento com Bissulfato de Sódio
PPM	Partes Por Milhão
PRB	Pó de Rocha Basáltica
RB	Rocha Basáltica
S	Enxofre
S.A.	Sales Andrade
SCC	Maravalha e Casca de Café
Se	Maravalha
Si	Silício
SiO ₂	Sílica, Dióxido de Silício
SRP	Pó de Rocha Silicática
Sz	Maravalha com Zeólita
T	Temperatura
TC	Tratamento Controle
U	Umidade
Zn	Zinco
PM	Potencial de Mineralização
Fe ₂ O ₃	Óxido Férrico
K ₂ O	Óxido de Potássio
TiO ₂	Dióxido de Titânio
Zn	Zinco

LISTA DE SIGLAS

ARRIVE	Animal Research: Reporting of In Vivo Experimentos
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DAS	Secretaria de Defesa Agropecuária
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
REMAg	Rede de Remineralizadores e Agrominerais
SIF	Serviço de Inspeção Federal
UE	União Européia
UFLA	Universidade Federal de Lavras

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	18
1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS	21
2.1 Geral	21
2.2 Específicos	21
3 REFERENCIAL TEÓRICO	22
3.1 Produção avícola no Brasil	22
3.1.1 Cama de aves	22
3.1.2 Emissão de amônia em aviários	23
3.2 Cama de aves como adubo orgânico	26
3.3 Compostagem de cama de aviário	28
3.4 Rejeitos de mineração e agricultura	29
3.5 Remineralizador kamafugito	31
3.6 Rochas Ornamentais e Quartzitos	32
3.7 Legislações de fertilizantes orgânicos e remineralizadores de solo como insumos agrícolas	33
REFERÊNCIAS	36
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	42
ARTIGO 1 - UTILIZAÇÃO DE PÓ DE KAMAFUGITO E REJEITO DE QUARTZITO (SÍLICA - SiO_2) PARA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE AMÔNIA EM CAMA DE AVES	42
1 INTRODUÇÃO	43
2 MATERIAL E MÉTODOS	46
2.1 Descrição da área e montagem do estudo	46
2.2 Aditivos utilizados nos tratamentos	47
2.3 Delineamento estatístico e montagem do experimento	48
2.4 Coleta de dados	49
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	62
APÊNDICE A - DADOS SUPLEMENTARES	65
ARTIGO 2 - AVALIAÇÃO DA COMPOSTAGEM DE CAMA AVIÁRIA EM FASE DE POSTURA ENRIQUECIDA COM KAMAFUGITO E REJEITOS DE QUARTZITO	69
1 INTRODUÇÃO	70
2 PARTE EXPERIMENTAL	72
2.1 Local do experimento e as espécies de poedeiras utilizadas	72
2.2 Montagem e composição da cama de aviário no experimento	73
2.3 Experimento de compostagem da cama de aviário	74
2.4 Controles do processo de compostagem	76
2.5 Controle da Temperatura da compostagem	76
2.6 Composição química, mineralógica, área superficial específica média e capacidade de troca de cátions do kamafugito e quartzito	77
2.7 Avaliações da qualidade dos compostos orgânicos	77
3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	80
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4.1 Estudo da temperatura	81

4.2	Estudo dos tratamentos com avaliação da qualidade dos compostos orgânicos	82
4.2.1	Nitrogênio	85
4.2.2	Cálcio	86
4.2.3	Macronutrientes	87
4.2.4	Micronutrientes	87
4.2.5	Variáveis físico-químicas	88
5	CONCLUSÃO	90
	REFERÊNCIAS	91
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
	ANEXO A – Certificado de análise química do pó de quartzito	97
	ANEXO B – Certificado de análise mineralógica do pó de quartzito	98
	ANEXO C – Certificado de análise: área superficial específica do pó de quartzito	99
	ANEXO D – Certificado de análise: determinação da capacidade de troca de cátions do pó de quartzito	100
	ANEXO E – Certificado de análise química do kamafugito	101
	ANEXO F – Certificado de análise mineralógica do kamafugito	102
	ANEXO G – Certificado de análise: área superficial específica do kamafugito	103
	ANEXO H – Certificado de análise: determinação da troca de cátions do kamafugito	104

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem sido um dos principais produtores e exportadores de carne de frango e de ovos no mundo (ABPA, 2024). Com condições climáticas favoráveis e uma infraestrutura que permite a criação eficiente de aves, o país tem se destacado nesse setor (Oliveira *et al.*, 2021). Minas Gerais, especificamente, desempenha um papel significativo nessa indústria, abrigando uma parcela considerável dos estabelecimentos registrados no Serviço de Inspeção Federal (SIP) para produtos de origem animal. Essa presença expressiva do estado contribui para a posição de destaque que o Brasil mantém no mercado global de aves (ABPA, 2024).

A avicultura de postura deve atender à normatização de práticas de manejo relacionadas à promoção do bem-estar animal e às demandas internas e mundiais por produção sustentável (Silva, 2020). Em relação à sustentabilidade, dois pontos são importantes na avicultura: a gestão dos resíduos da cama de aviário e a emissão de gases.

A qualidade do ar é uma questão crucial que deve ser monitorada em aviários, especialmente em relação à concentração de gases. Procedimentos devem ser adotados para manter a qualidade do ar dentro dos parâmetros normativos em todas as condições climáticas previsíveis (Care, 2018; Silva, 2020). A amônia é o principal gás liberado nas granjas aviárias e é altamente irritante para aves e seres humanos, causando perdas significativas em aviários quando presente em altas concentrações.

A alta concentração de amônia no ar dos galpões avícolas resulta da decomposição microbiana dos dejetos que compõem a cama de aviário, que é o material utilizado no piso onde se acumulam excrementos avícolas, penas e restos de alimentos (Oliveira *et al.*, 2021). Técnicas de manejo ambiental, como ventilação e controle do pH, temperatura e umidade da cama de aviário, bem como a utilização de aditivos, podem reduzir a emissão de amônia e diminuir a perda de nitrogênio nos resíduos gerados nos aviários (Souza *et al.*, 2016; Care, 2018 e Silva, 2020).

Após sua utilização, a cama de aviários torna-se um resíduo que pode ser utilizado como adubo após passar por processo de compostagem. A compostagem é uma técnica valiosa, amplamente reconhecida por sua simplicidade e eficácia na transformação de resíduos orgânicos em adubo (Fioreze; Serantoni; Azevedo, 2020). Controlando cuidadosamente fatores como temperatura, umidade e aeração, é possível acelerar o processo de decomposição, resultando em um produto final rico em nutrientes e livre de patógenos (Palhares, 2017).

Realizar a compostagem do resíduo da cama de aves utilizando resíduos de mineração

como aditivo, ainda na fase de postura das galinhas, é um estudo inédito, que buscou verificar a eficácia dos aditivos na redução de amônia durante o período em que as aves estão no galpão, e ao mesmo tempo dar o destino correto à cama de aviário após sua utilização.

Nesse sentido, pretende-se agregar valor à cama de aviário como fertilizante e dar a destinação correta aos resíduos de mineração. Utilizar o pó de rocha como fonte alternativa de nutrientes para os solos é uma forma de resolver um importante passivo ambiental existente nas pedreiras, sendo possível identificar a importância das rochas silicáticas nesse novo cenário da agricultura (Santos; Gomes; Castro, 2021). O uso de rochas moídas como remineralizadores e fertilizantes naturais está regulamentado para práticas de manejo da fertilidade dos solos (Theodoro *et al.*, 2022).

De acordo com a Lei nº12.890, de 2013, remineralizador é um mineral que sofreu alteração de suas partículas apenas em relação ao tamanho, após passar por processos mecânicos. O uso dos remineralizadores pode alterar a fertilidade dos solos pela presença de micro e/ou macronutrientes, melhorando suas propriedades físicas ou físico-químicas ou a atividade biológica do solo (Brasil, 2013).

Um dos resíduos importantes gerados da mineração é o pó de pedra quartzito que possui teores de sílica (SiO_2) de 98%. Embora esse material tenha diversas aplicações potenciais não existem pesquisas relacionadas à sua utilização em cama de aves, nem em relação à emissão de amônia (FEAM, 2010). Contudo, o silício (Si) é considerado um elemento benéfico para várias culturas se o seu uso na agricultura tem se intensificado nos últimos anos, sua obtenção pelo uso das rochas silicatadas empregadas na agricultura é uma alternativa ambiental e economicamente vantajosa (Alovisi *et al.*, 2020). O Si é encontrado na forma de óxidos (SiO_2) constituindo os minerais silicatados que formam rochas e sedimentos como areia, silte e argila. O Si, por atuar indiretamente no desenvolvimento das plantas e estar envolvido em processos químicos importantes no solo, vem sendo utilizado na agricultura (Santos *et al.*, 2021).

O remineralizador derivado das rochas Kamafugíticas está sendo explorado como uma alternativa promissora de fertilizante, oferecendo benefícios significativos para a agricultura por ser rico em nutrientes como Ca, Mg, K e P (Motta Junior *et al.*, 2021). Os kamafugito são rochas vulcânicas ultrapotássicas, subsaturadas em Si que possuem como característica a liberação lenta de nutrientes essenciais (Motta Junior *et al.*, 2021). Análises químicas nesse estudo revelaram que o kamafugito possui teor de SiO_2 de 35%. Esses minerais estão sendo cada vez mais explorados como fonte alternativa de fertilizantes, fornecendo K, P e outros nutrientes importantes para a agricultura (Motta Junior *et al.*, 2021).

Não existem pesquisas relacionadas ao remineralizador kamafugito em relação à emissão de amônia; assim, pretende-se verificar se esse material pode ser uma alternativa para

reduzir a emissão de amônia na cama de aviário, já que é rica em N e em bactérias. Pretende-se, também, verificar a influência do aditivo em relação ao produto final da compostagem da cama de aviário. O estudo introduziu uma abordagem inovadora ao investigar a aplicação dos aditivos na etapa de postura das aves, antes do processo de compostagem. Buscou-se, nesse sentido, avaliar a eficácia dos aditivos na redução da emissão de amônia em galpões na criação de galinhas no sistema *free range*, durante a postura das aves e, posteriormente, verificar o impacto da utilização dos aditivos na qualidade do composto orgânico dos resíduos da cama de aviário após a compostagem.

O trabalho foi separado por partes, sendo a primeira composta por resumo, introdução e referencial teórico; a segunda, pela apresentação dos dois artigos que serão submetidos em periódicos científicos de alto fator de impacto; e a terceira parte onde serão apresentadas as considerações finais.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o impacto do kamafugito e do rejeito de quartzito como aditivos na cama de maravalha das aves, investigando sua eficácia na redução da emissão de amônia no galpão de postura. Além disso, foi realizada análise da qualidade do composto orgânico resultante, com especial atenção aos teores de macro e micronutrientes, visando sua viabilidade como fertilizante pós-compostagem.

2.2 Específicos

- a) Utilizar o rejeito de quartzito como aditivos na cama do aviário e analisar o efeito na volatilização da amônia;
- b) Analisar o comportamento dos aditivos kamafugito e do rejeito de quartzito em relação à umidade e ao pH na cama do aviário;
- c) Realizar as caracterizações físico-químicas (pH, matéria orgânica, umidade e macro e microelementos) da cama de aviário, antes e após o processo de compostagem nos tratamentos;
- d) Avaliar a adequação a legislação vigente e a concentração de nutrientes do composto orgânico oriundo da compostagem de cama de aves de maravalha com o kamafugito e o rejeito de quartzito.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Produção avícola no Brasil

Desde 2004 até os dias de hoje, o Brasil vem se destacando como um dos maiores produtores e exportadores de carne de frangos de corte, a produção de ovos atende a demanda interna com exportação de apenas 1% dos ovos produzidos (ABPA, 2024).

No Brasil, a produção total de carne de frango é estimada em torno de 14 milhões de toneladas anuais; e a produção de ovos anual é estimada em cerca de 55 bilhões de unidades, sendo realizadas, predominantemente, nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste que, juntas, representam mais de 95% de toda a produção nacional (ABPA, 2024).

Todos os produtos de origem animal sob responsabilidade do Ministério da Agricultura e Pecuária são registrados e aprovados pelo Serviço de Inspeção Federal (SIF), que possui a responsabilidade de garantir produtos com certificação sanitária e tecnológica. Em Minas Gerais, o número de estabelecimentos para produção de aves é de 33 SIFs ativos; e o de produção de ovos é de 58 SIFs ativos, sendo que o total de registros ativos de SIFs no Brasil é de 137 para aves de corte e 498 para ovos (ABPA, 2024).

O clima favorável do país é um fator crucial que permite a criação eficiente de aves em condições adequadas, tanto em instalações abertas, quanto em fechadas. A flexibilidade na adaptação das instalações contribui significativamente para a produtividade e o bem-estar animal (Oliveira *et al.*, 2021).

3.1.1 Cama de aves

A preocupação com a sustentabilidade ambiental e o bem-estar animal tem levado a práticas mais responsáveis na produção avícola. O uso da cama de aviário, por exemplo, é uma técnica amplamente adotada para melhorar a higiene e o conforto das aves, contribuindo para a sustentabilidade do setor (Care, 2018; Silva; Abreu; Mazzuco, 2020). Nos sistemas de criação de aves em galpões, a cama de aviário é essencial para a absorção de umidade, controle de temperatura, e minimização do estresse das aves (Lucca *et al.*, 2012).

A cama de aviário é uma cobertura que varia de 5 a 10 cm de espessura sobre o piso do galpão, feita com materiais como maravalha ou maravalha de pinus, eucalipto, madeira de lei, casca de arroz, bagaço de cana, sabugo de milho ou palha (Lucca *et al.*, 2012). A cama de aviário e seus excrementos são resíduos provenientes dos sistemas de produção de frango de corte e ovos. Além de constituir um resíduo orgânico ao término de seu uso, a decomposição

do ácido úrico presente nas excretas das aves gera amônia (Egute *et al.*, 2014). O ácido sofre uma degradação enzimática gradual durante decomposição microbiana na cama (Cockerill, *et al.*, 2020). Nas granjas e aviários o ácido úrico eliminado, as proteínas não absorvidas os aminoácidos e o nitrogênio não protéico são rapidamente hidrolisados, formando amônia (Vaz, *et al.*, 2024).

3.1.2 Emissão de amônia em aviários

Em relação à qualidade do ar, a amônia é o principal poluente gasoso da produção avícola, afetando a saúde de animais e humanos. Quantificar a emissão de amônia e realizar inventários de emissões é um desafio no Brasil. A falta de legislações que estabeleçam limite de exposição ao gás para pessoas e animais, assim como a determinação dos níveis máximos de concentração na atmosfera, contribui para essa problemática. Dados da América Latina indicam que a maior parte da emissão de amônia provém da agricultura e da criação de animais. Assim, são necessários estudos sobre os fatores de emissão e a determinação de amônia na produção de frangos, bem como práticas para a redução dessas emissões (Oliveira *et al.*, 2021).

No Brasil, não existe padronização de métodos de inspeção em sistemas avícolas nem normas ambientais específicas para esses fins. As normas referentes à exposição à amônia no país são restritas às normas trabalhistas. A NR-15 estabelece uma concentração máxima de amônia de até 20 ppm ou 14 mg/m³ para 48 horas de trabalho por semana (Oliveira *et al.*, 2021). Segundo a *Humane Farm Animal Care*, a concentração desejável de amônia é inferior a 10 ppm na altura das aves e não deve exceder 25 ppm, exceto em breves períodos de clima severo e rigoroso com pouca ventilação (Silva; Abreu; Mazzuco, 2020; Care, 2018).

A taxa de volatilização da amônia da cama de aviário está diretamente ligada ao teor de umidade junto às partículas de maravalha. Fatores como o pH influenciam a disponibilidade de amônia na cama de aves. A volatilização da amônia começa em pH próximo de 7 e a decomposição da amônia por bactérias como *Bacillus pasteurii*, por exemplo, requer um pH de 8,5 para um crescimento ideal. Em pH abaixo de 7,0, a maior parte da amônia está ligada como íon amônio (NH₄⁺), impedindo a sua volatilização (Vilela *et al.*; 2020). Neste processo ocorre um equilíbrio entre a amônia e o íon amônio (Cockerill *et al.*, 2020).

Outros fatores como o controle a atmosfera com a ventilação dos galpões, especialmente no inverno, o controle da temperatura e o uso de aditivos para a redução de emissões de amônia, são fundamentais para não comprometer o desempenho das aves (Oliveira *et al.*, 2021). A Tabela 1 é uma revisão contendo os aditivos utilizados, os objetivos e os resultados de estudos, em diferentes tratamentos de camas de aves.

Tabela 1 - Estudo de aditivos para diferentes tratamentos de cama de aviário. (Continua)

Aditivos utilizados	Objetivos	Resultados do estudo	Referências
- Sulfato de alumínio; - Sulfato férrico.	Analisar estratégias para controlar os níveis e emissões de NH ₃ dos aviários.	- Os aditivos apresentaram 50% de eficiência em relação à emissão de amônia com uma taxa de aplicação de 0,9 kg/m ² . - A redução de amônia pela redução do pH da cama, inibe as atividades de enzimas e microrganismos que favorecem a geração de gases NH ₃ .	Bist; Chai; Yang, 2023
- Pó de Rocha Basáltica (PRB) - 10, 20, 30, 40 e 50%; - Cama de frango pura; - Rocha Basáltica (RB) controle; - Pó de Rocha Basáltica (PRB).	Determinar as liberações atmosféricas de CO ₂ e N-NH ₃ . Quantificar os elementos químicos usados em fertilizantes.	- 30% de PRB na CF menor volatilização e estabilizou mais rápido a liberação de N-NH ₃ . - O conteúdo de P e K diminuiu na concentração de 30% e outros nutrientes sem diferença estatística quanto a CF pura.	Curtis; Luchese; Missio, 2023b
- Maravalha e casca de café (SCC) sem tratamento; - SCC tratada com superfosfato (30 kg.ton ⁻¹); - SCC + gesso agrícola 40% do peso total da cama; - SCC reaproveitada de dois lotes anteriores; - SCC reutilizada e tratada com cal (0,5 kg m ⁻²); - Cama nova de maravalha.	Avaliar a qualidade da cama de frango com casca de café tratada com aditivos químicos em relação à umidade, teor de Amônia, pH e contagem de bactérias totais.	- O teor de amônia na cama reutilizada sem tratamento (6,46 g kg ⁻¹) foi maior em relação à cama nova não tratada (4,19g kg ¹) e em relação à cama nova tratada com cal (3,94 g kg ⁻¹). - Verificou-se a perda da eficiência na manutenção de pH baixo ao longo do tempo em todos os tratamentos. - Não ocorreu efeito na contagem de bactérias e na temperatura superficial da cama.	Ferreira <i>et al.</i> 2018
- Hidróxido de cálcio (500g/m); - Sulfato de Alumínio (500g/m); - Sulfato de cálcio (1000g/m); - Sulfato de cálcio 48% + Filossilicato Expandido 28% (500g/m).	Avaliar tratamentos químicos em cama aviária para frango de corte.	- pH: em todos os tratamentos é indicado fazer nova aplicação dos produtos químicos após 2 semanas. - Umidade: todos os tratamentos foram eficazes. - Contagem bacteriana: redução do desenvolvimento bacteriano nos tratamentos.	Lucca <i>et al.</i> 2012

Tabela 1 - Estudo de aditivos para diferentes tratamentos de cama de aviário. (Continua)

Aditivos utilizados	Objetivos	Resultados do estudo	Referências
<ul style="list-style-type: none"> - Cama nova; - Cama reutilizada; - Cama tratada com sulfato de alumínio- 490 g/m²; - Cama tratada com gesso agrícola (CaSO₄) - 40% do peso da cama; - Cama tratada com cal hidratada - 0,5 kg/m². 	Determinar o teor de matéria seca, pH e a amônia volatilizada da cama de frango tratada ou não com diferentes aditivos.	<ul style="list-style-type: none"> - Gesso agrícola reduziu o valor de pH e a quantidade de amônia volatilizada; - É indicado adição de gesso agrícola na cama de frango para redução de pH e na perda de nitrogênio por volatilização por amônia. - Sem influência dos tratamentos na matéria seca. 	Oliveira <i>et al.</i> 2003
<ul style="list-style-type: none"> - Aluminossilicato (0,55 kg de aluminossilicato/m² de cama); - Aluminossilicato (0,45 kg/m² de cama); - Cama não tratada. 	Avaliar o efeito do tratamento da cama com aluminossilicato na produtividade de frangos de corte.	<ul style="list-style-type: none"> - O nível de amônia, o pH atmosférico e o pH da cama foram maiores no grupo de aves criadas em cama não tratada; - O aluminossilicato foi efetivo no controle dos níveis de amônia, embora não tenha se refletido em melhora nos níveis produtivos das aves. 	Pizarro <i>et al.</i> 2009
<ul style="list-style-type: none"> - Dejetos Frescos (DF) - Dejetos Frescos (DF) + óxido de cálcio (500 g.m²) - DF + sulfato de cálcio (40% do peso da cama) - DF + terra diatomácea (220g.m²) 	Determinar a matéria seca, o pH e a amônia volatilizada de resíduos de poedeiras com diferentes aditivos.	<ul style="list-style-type: none"> - Sulfato de cálcio reduz a umidade e o pH e inibe a volatilização da amônia por até 12 dias. - Terra diatomácea deve ser analisada em maior concentração aos dejetos. - Adição de óxido de cálcio e sulfato de cálcio produz maior teor de matéria seca em relação ao controle. 	De Souza Sanches <i>et al.</i> 2021
- Dieta basal suplementada com clinoptilolita a um nível de 2% e dois tipos de cama, maravalha (Se) e maravalha com zeólita (Sz, resultado da adição de 2 kg de zeólita/m ²).	Avaliar o efeito da clinoptilolita (uma zeólita natural) no crescimento e desempenho de frangos de corte e na qualidade de sua cama.	<ul style="list-style-type: none"> - A incorporação da clinoptilolita tanto na ração como na cama teve um efeito positivo no crescimento dos frangos de corte e na qualidade da sua cama. - A concentração média de amônia (ppm) foi maior no grupo com a cama maravalha em comparação aos 2 grupos com maravalha e zeólita (27,00 vs. 20,55 e 21,71 respectivamente). 	Karamanli <i>et al.</i> 2008

Tabela 1 - Estudo de aditivos para diferentes tratamentos de cama de aviário. (Conclusão)

Aditivos utilizados	Objetivos	Resultados do estudo	Referências
<ul style="list-style-type: none"> - Cama não tratada; - Cama submetida à compostagem dentro do galpão; - Cama com sulfato de alumínio; - Cama com gesso agrícola; - Cama com cal virgem; - Cama com calcário dolomítico; - Cama com zeólita; - Cama com carvão vegetal. 	Avaliar os efeitos do tratamento da cama de frango sobre o teor de umidade, o pH, a densidade e a amônia volatilizada.	<ul style="list-style-type: none"> - Não houve diferença na densidade entre os tratamentos. - O sulfato de alumínio reduziu o pH das camas em todos os lotes; - O sulfato de alumínio reduziu a amônia volatilizada; - O sulfato de alumínio pode melhorar a qualidade da cama de frango de feno de capim-elefante picado, por reduzir o pH e a volatilização de amônia. 	Loch <i>et al.</i> 2011
<ul style="list-style-type: none"> - Cama de aviário com os tratamentos: - Zeólita (0%, 2,5%, 5%, 10% da cama). - Al⁺ Clear (sulfato de alumínio, 48,5% líquido e granulado) Al⁺ Clear (1, 2 ou 4 kg/m² de superfície de esterco) - Ferix-3 (sulfato férrico) - (1, 2 ou 4 kg/m² de superfície de esterco). - Tratamento com (PLT, bissulfato de sódio). 	Verificar a redução das emissões de amônia do esterco de galinha em galpões por aplicação de aditivos	<ul style="list-style-type: none"> - Todos os agentes testados apresentaram redução apreciável nas emissões de NH₃, de 33 a 94%. - Taxa de 1,0 kg/m², Al⁺ Clear granular, Ferix-3 e PLT ocorreu a redução da emissão de NH₃ do esterco de galinha durante 7 dias. - Al⁺ Clear e Ferix-3 apresentaram maior redução de emissão de NH₃ que PLT. 	Li <i>et al.</i> 2008
<ul style="list-style-type: none"> - Adição de 20% de gesso dessulfurador de gases de combustão (FGDG) à cama de frango de corte - Adição de 40% de FGDG à cama de frango de corte. 	O objetivo foi avaliar o efeito da adição de 20 ou 40% de FGDG à cama de frango de corte sobre o pH, condutividade elétrica (CE), potencial hídrico, abundância de bactérias degradadoras de uréia, NH ₃ e dióxido de carbono (CO ₂) e mineralização do nitrogênio (N) em vários experimentos com 21-d.	<p>A adição de FGDG à cama de frango:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aumentou a CE em 24 a 33%; - Diminuiu as bactérias degradadoras de uréia em 48 a 57%; - Aumentou a mineralização do N em 10 a 11%; <p>Em comparação com as camas não tratadas com FGDG.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adição de 20% de FGDG à cama de frango diminuiu a volatilização da NH₃ de 18 a 28%. - Aumentou do valor como fertilizante da cama de frango de corte. 	Burt <i>et al.</i> 2017

Fonte: Do autor (2024).

3.2 Cama de aves como adubo orgânico

O esterco de aves, por ser rico em macro e micronutrientes, pode ser utilizado como adubo orgânico (Drózdź *et al.*, 2020). A comercialização como adubo torna-se mais viável com

a utilização de aditivos, os quais podem reduzir a perda de nitrogênio por fermentação, tornando o produto final mais rentável como adubo, melhorando sua qualidade em relação à composição de nutrientes (Lucca *et al.*, 2012).

Como exemplos de aditivos, a cal virgem pode elevar o pH da cama, deixando o ambiente desfavorável ao aumento da carga bacteriana (Franz *et al.*, 2020). O gesso agrícola é outro aditivo utilizado para diminuir a volatilização da amônia de esterco. Um estudo realizado por (Franz *et al.*, 2020) tratou a cama de aviária com gesso agrícola e os resultados apresentaram 14% de N a mais que a cama tratada com cal virgem. Os teores de N e S aumentaram nas camas tratadas com gesso agrícola e os teores de Mg aumentaram nas camas aviárias tratadas com cal virgem. Como a cal virgem não tem enxofre em sua composição o teor de S foi menor. Verificou-se, no estudo, que há possibilidade de valorização da cama de aviário para uso agrícola com a utilização de aditivos para tratamento das camas de aviário.

Prado *et al.* (2022) avaliaram o potencial de diferentes esterco de animais tratados para produzir fertilizantes à base de esterco. Os resultados mostraram que o esterco de aves foi o que apresentou maior potencial de mineralização (PM ~23% do N total), sugerindo que, além do maior teor de N imediatamente disponível (NH_4^+ -N), uma parte significativa do N orgânico pode ser mineralizada rapidamente, permitindo uma absorção significativa de N pelas plantas ao longo do tempo.

No estudo realizado por Curtis; Luchese; Missio (2023a), os autores analisaram os teores de P, K, Ca e Mg nos solos para avaliar a eficiência da mistura de cama de frango e remineralizador de solo, em diferentes doses, como fonte alternativa de nutrientes para adubação da cultura do milho. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e os resultados demonstraram que houve efeito residual da mistura de cama de frango e remineralizador de solo quando aplicados nas quantidades 30% e 50% junto à cama de frango na cultura do milho. Verificou-se que a mistura de cama de frango e remineralizador foi uma alternativa para uma fertilização sustentável, de alta qualidade e baixo custo (Curtis; Luchese; Missio, 2023a).

Apesar da cama de aviário ser um resíduo agrícola produzido em grande quantidade e ser rico em nutrientes para sua utilização como fertilizante do solo, este resíduo requer técnicas de estabilização da matéria orgânica e desinfecção do material, como processos de compostagem (Fioreze; Serantoni; Azevedo, 2020).

3.3 Compostagem de cama de aviário

O composto orgânico é o resultado de um processo conhecido como compostagem, que envolve uma série de transformações físicas, químicas e biológicas em matérias-primas de origem animal ou vegetal. Esse processo pode ocorrer naturalmente ou ser controlado e tem como objetivo, a degradação e transformação da matéria orgânica em um material estável e rico em nutrientes, capaz de melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo (Brasil, 2011).

A compostagem é uma técnica amplamente utilizada devido à sua simplicidade operacional e eficácia na humificação do conteúdo orgânico que além de eliminar patógenos contribui para o manejo sustentável dos resíduos orgânicos (Fioreze; Serantoni; Azevedo, 2020). Ao controlar as condições de temperatura, umidade e aeração, é possível promover a decomposição da matéria orgânica de forma eficiente, resultando em um produto final que pode ser utilizado como adubo (Palhares, 2017).

Para garantir uma compostagem eficaz, é essencial criar leiras com alturas médias de 1,2 m, pois leiras muito baixas têm dificuldade em reter calor necessário para o processo. Além disso, é importante manter uma proporção adequada de C para N, idealmente na relação de 30:1. Por exemplo, a cama de aviário, geralmente, apresenta uma proporção média de 5 a 8:1 de C/N (Palhares, 2017).

Durante o processo de compostagem é crucial monitorar a umidade das leiras, mantendo a entre 40% e 60%. Ao alcançar o produto final, este deve ter reduzido aproximadamente um terço ($1/3$) do seu volume inicial. Um indicativo de maturação do composto é a presença de um aroma semelhante à terra molhada e uma coloração escura, sinalizando que o composto atingiu maturidade e está pronto para uso como adubo orgânico de alta qualidade (Palhares, 2017).

No estudo realizado para avaliar a eficiência do tratamento de cama de frango via compostagem, Fioreza; Serantoni; Azevedo (2020) utilizaram um método simples, formando pilhas, utilizando cama de frango de maravalha de madeira não tratada e os restos de ração e excrementos das aves. Para garantir a eficiência do processo, foram controladas a temperatura e a umidade da pilha por meio de revolvimentos periódicos, visando aeração e homogeneização do material. A temperatura foi monitorada diariamente em diferentes pontos da pilha, base, centro e ápice e mantida abaixo de 65°C , para assegurar as condições ideais de degradação microbiana, evitando a perda de N por volatilização da amônia; a umidade foi mantida dentro da faixa de 40% a 65%. Inicialmente, a pilha foi revolvida duas vezes por semana durante os primeiros 30 dias. Posteriormente, o revolvimento foi a cada sete dias, até o início da fase de maturação. A fase de maturação é caracterizada pela manutenção da temperatura abaixo de

40°C descrita como fase mesofílica. Os resultados do estudo demonstraram que ocorreu a eliminação de patógenos e a maturação do composto ocorreu após os 97 dias de compostagem (Fioreza; Serantoni; Azevedo, 2020).

3.4 Rejeitos de mineração e agricultura

Os impactos ambientais gerados pela atividade mineradora podem ser atenuados ao reutilizar seus resíduos e subprodutos, como fertilizantes naturais, em detrimento aos fertilizantes sintéticos convencionais.

O estudo realizado por Nunes *et al.* (2014) analisou os resíduos de basalto para verificar seu potencial como fertilizante natural. Foram feitas as caracterizações química, física e físico-química dos resíduos e avaliou-se, também, o potencial de disponibilização de macronutrientes e micronutrientes. Foram identificados no material a presença de diversos compostos minerais, como labradorita, quartzo, augita, feldspato alcalino e esmectite. Além disso, foram identificados os principais óxidos simples, como SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O e Na_2O . Verificou-se que os resíduos de pó de basalto podem ser uma ótima alternativa de fertilizantes.

A agricultura de rochas surge como uma abordagem promissora nesse contexto, essa prática não apenas contribui para mitigar os custos associados ao descarte dos resíduos minerários, mas também se alinha com a implementação de estratégias que visam melhorar a qualidade dos solos, garantir a segurança alimentar e combater as ameaças climáticas com o uso de rochas na agricultura (Beerling *et al.*, 2018).

Nesse sentido, as rochas e os minerais silicáticos podem ser utilizados como complementos de fosfatos de rocha, calcário, pesticidas, fungicidas, enquanto enriquecem os solos com oligoelementos essenciais para o crescimento das culturas. Além disso, podem repor os nutrientes perdidos devido à erosão e ajudar a neutralizar a acidificação do solo. Adicionalmente, trazem benefícios relacionados ao sequestro de carbono, contribuindo para a descarbonização do processo agrícola (Beerling *et al.*, 2018).

O elevado teor de nutrientes pode sugerir a viabilidade de um material como fertilizante alternativo. Um exemplo, é o pó de rocha vulcânica, estudado como remineralizador de solo na agricultura, apresentando um teor de SiO_2 de 64,8%. Os resultados da pesquisa destacaram as vantagens do uso agrônomico das rochas vulcânicas como fertilizantes, especialmente em culturas que demandam nutrientes de liberação gradual ao longo do tempo. No entanto, a utilização de pó de rocha junto a outros materiais pode alterar sua composição. Essas modificações podem promover uma maior liberação de nutrientes em um período de tempo

mais curto, o que seria benéfico para as culturas agrícolas (Ramos *et al.*, 2015).

Os resíduos provenientes da mineração de rocha vulcânica ácida do sul do Brasil foram avaliados com base em suas características químicas e mineralógicas, visando sua utilização como fertilizantes naturais do solo. Um estudo realizado por Beeling *et al.*, (2018) constataram que a rocha vulcânica liberou nutrientes de maneira mais eficaz em soluções de ácido oxálico a 1% em comparação com outros testes realizados. Na solução ácida, foram disponibilizados nutrientes essenciais, incluindo Fe, Ca, Al, P, Si, Mg, Na e K. A rocha vulcânica, pela sua composição rica em macronutrientes e micronutrientes, é altamente recomendada como fonte de fertilização do solo, devido à presença de diversos silicatos minerais.

Estudos realizados com remineralizadores de solos provenientes de rochas silicatadas foram realizados visando verificar os efeitos condicionadores e nutricionais no solo. Os remineralizadores testados foram obtidos a partir da moagem de resíduos minerais com granulometria menor que 2,0 mm e foram utilizados como fonte de K. Os resultados obtidos revelaram que o uso do remineralizador promoveu a elevação do pH e da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, além de conferir maior eficiência às fontes solúveis de fertilizantes (Souza *et al.*, 2017).

O ácido húmico (HA) formado por compostos orgânicos durante o processo de compostagem foi objeto de estudo em coaplicação com pó de rocha silicática (SRP). Busato *et al.* (2022) avaliaram o SRP e verificaram que este material possui nutrientes como SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O e Fe_2O_3 . O SRP foi utilizado em conjunto com o HA, obtido a partir do vermicomposto de esterco bovino e minhocas (*Eiseniafoetida*). Como resultado do estudo, constatou-se que os HAs representam uma abordagem sustentável e de custo reduzido para a fertilização do solo. Os autores estimularam o desenvolvimento de mudas de milho e aumentou a eficiência na absorção de nutrientes em um solo intemperizado corrigido com SRP, o que foi considerado benéfico para a nutrição de plantas de culturas de curta duração (Busato *et al.*, 2022).

A pesquisa realizada em escala regional, conduzida em Ontário, no Canadá, explorou a correção do solo com silicatos, especificamente wollastonita (CaSiO_3), que já era utilizada na região como corretivo de solo. O objetivo do estudo foi investigar o papel da wollastonita no sequestro de CO_2 no solo. As variedades de wollastonita utilizadas são compostas por wollastonita (CaSiO_3), diopsídio ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) e quartzo (SiO_2). Os silicatos têm sido objeto de estudos devido à sua relevância na ciclagem de nutrientes e na liberação de SiO_2 para o solo. Isso se deve à sua capacidade de se acumular nas plantas na forma fitogênica. Além disso, as vantagens do Sinas plantas em relação à resistência a estresses bióticos e abióticos têm sido reconhecidas. Neste estudo, foram fornecidas evidências em escala regional de que a correção do solo com silicatos é também uma ferramenta eficaz para a mitigação das mudanças

climáticas (Haque; Santos; Chiang, 2020).

A utilização do pó de rochas silicáticas como fertilizante surge como uma alternativa promissora para reduzir a dependência do Brasil de fertilizantes inorgânicos importados. Um estudo investigou o uso do pó de rocha Gnaisse em conjunto com vermicomposto, produzido a partir da transformação de resíduos orgânicos por minhocas, visando melhorar a nutrição de plantas de milho. A análise do pó de rocha de Gnaisse revelou a presença de diversos microelementos, como Si, K, Ca, Fe e Zn, além do macroelemento SiO_2 na proporção de 54,7%. No que diz respeito à avaliação nutricional das plantas, observou-se que, quando enriquecidas com o pó de rocha Gnaisse e vermicomposto, elas cresceram mais do que aquelas sem o vermicomposto, apresentando aumento nas concentrações de K, Ca, Mg e Mn. Isso sugere a viabilidade do uso do pó de rocha em conjunto com o vermicomposto para fertilização. Além disso, os níveis de Ca, P e K disponíveis no solo também aumentaram com a aplicação do pó de rocha em combinação com o vermicomposto (Souza *et al.*, 2018).

Um experimento envolvendo microrganismos para verificar a solubilidade de P e K contidos em pó de rocha apatita (contendo 12% de P) e biotita (contendo 17,7% de K) demonstrou, pelos resultados, que as bactérias produzem níveis mais altos de solubilidade em relação à inoculação de fungos, e que, quanto maior a quantidade de bactérias, maior a solubilidade, sendo que ocorre maior solubilidade pelos microrganismos quando o meio contém fontes de N (Silva *et al.*, 2017).

Ao analisar os estudos de rejeitos de mineração e agricultura verificou-se que a sustentabilidade agrícola pode ser explorada utilizando resíduos de mineração, remineralizadores, produtos de compostagem, vermicompostos, esterco entre outros pós de rochas e resíduos, buscando alternativas ao uso de fertilizantes sintéticos e de fontes não renováveis. Para tanto, utilizou-se o remineralizador kamafugito e o pó de pedra quartzito junto à cama de galinha e analisou suas características como composto orgânico após a compostagem, cada material vindo de uma região do estado de Minas Gerais, buscando alternativas regionais.

3.5 Remineralizador kamafugito

Os kamafugitos representam um grupo de rochas vulcânicas ultrapotássicas, subsaturadas em Si que são encontrados nos estados de Minas Gerais e Goiás, caracterizados por sua composição e pela liberação lenta de nutrientes essenciais (Motta Junior *et al.*, 2021). Esses minerais estão sendo cada vez mais explorados como fonte alternativa de fertilizantes, fornecendo K, P e outros nutrientes importantes para a agricultura (Motta Junior *et al.*, 2021).

Análises químicas realizadas em nosso estudo (Anexos: E, F, G e H) revelaram que o kamafugito possui um teor de SiO_2 de 34,79%, Fe_2O_3 de 21,59%, Al_2O_3 de 8,53%, TiO_2 de 8,3%, CaO de 6,03%, MgO de 6,34%, Na_2O de 0,15% e K_2O de 3,84%. Além disso, análises mineralógicas identificaram a presença de quartzo, ferrita de magnésio, fosfato de ferro, hematita, nontronita, ferrato de potássio, augita e fosfito de hidrogênio no kamafugito. Sua área superficial específica média é de 30,54 (m^2/g), enquanto a capacidade de troca de cátions (CTC) é de 10,0 meq/100g.

O kamafugito moído não apenas fornece nutrientes essenciais, mas também contribui para a correção do solo, podendo ser utilizado como remineralizador. Essas características fazem do kamafugito uma alternativa promissora para aumentar a fertilidade do solo e fornecer nutrientes de forma gradual (Motta Junior *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2020; Straaten, 2022). Não existem estudos relacionados ao kamafugito como aditivo de cama de aviário para redução de amônia.

3.6 Rochas Ornamentais e Quartzitos

Três estados brasileiros se destacam como os principais produtores de rochas não processadas, respondendo por cerca de 80% da produção nacional de rochas ornamentais: Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia. Minas Gerais, especificamente, ocupa posição proeminente nesse cenário, contribuindo com aproximadamente 18% do volume total de extração e produção de rochas ornamentais no país. Além disso, o estado é reconhecido como o maior produtor de ardósia e quartzito (PEDROSA SOARES *et al.*, 2018).

No sul de Minas, entretanto, o beneficiamento de “Pedras São Tomé” é responsável por uma grande quantidade de rejeitos que formam montanhas de materiais acumulados ao longo dos anos. Contudo, os impactos ambientais causados pela mineração podem ser minimizados com a utilização desses resíduos. De acordo com o levantamento disponibilizado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), no Plano de ação para a sustentabilidade do setor de rochas ornamentais em 2009, não existia um aproveitamento dos rejeitos de quartzitos das pedras de São Tomé (FEAM, 2009).

Nas análises físico-químicas do pó de quartzito realizadas em nosso estudo (Anexos A, B, C e D), observa-se que o teor de SiO_2 é de 98,6%, enquanto o de Al_2O_3 é de 0,41%. O quartzo, constituindo 99% do material, destaca-se como o componente dominante, resultando em teores muito baixos para outros elementos. Além disso, a área superficial específica média é de 0,68 m^2/g , enquanto a CTC é de 0,5 meq/100g. Esses resultados evidenciam a pureza e a predominância do quartzo no pó de quartzito, caracterizando-o como uma fonte altamente

concentrada de sílica que pode ser utilizada em diversas áreas (FEAM, 2009).

Não existem pesquisas relacionadas à utilização do rejeito de quartzito (sílica-SiO₂) em cama de aves junto à maravalha e em relação à redução de amônia. Dessa forma, é importante realizar estudos avaliando a utilização deste rejeito que vem se acumulando ao longo dos anos na região sul do estado de Minas Gerais.

Nesse sentido, a cama de aviário, depois de sua utilização nos aviários, pode ser utilizada como composto orgânico e ter seu valor agregado, pois o Si é considerado um elemento benéfico para várias culturas (Alovisi *et al.*, 2020). O uso do Si na agricultura tem se intensificado nos últimos anos e sua obtenção pelo uso das rochas silicatadas empregadas na agricultura é uma alternativa ambiental e economicamente vantajosa (Alovisi *et al.*, 2020).

Nos solos, o Si está presente na forma de SiO₂. Do ponto de vista nutricional o Si é considerado um dos elementos essenciais e importantes que desempenha um papel vital no crescimento e na produtividade das plantas cultivadas, melhorando seu estado nutricional (KHAN *et al.*, 2023).

O SiO₂ é encontrado quase sempre na forma de quartzo em configurações que não são disponíveis para a planta, isso porque a maioria dos solos de regiões tropicais já se encontram em elevado grau de intemperismo (Barbosa Filho *et al.*, 2001). A aplicação exógena de Si ativa mecanismos de defesa de plantas e fitohormônios sob estresses bióticos e abióticos, sendo que alguns fatores do solo, como pH do solo, textura, matéria orgânica e temperatura, influenciam significativamente a biodisponibilidade e a solubilidade de Si no sistema do solo (KHAN *et al.*, 2023). Nesse contexto, a pesquisa e o desenvolvimento de técnicas de utilização do rejeito de quartzito podem contribuir para a valorização de resíduos promovendo a sustentabilidade e o aproveitamento de recursos disponíveis de forma mais eficiente.

3.7 Legislações de fertilizantes orgânicos e remineralizadores de solo como insumos agrícolas

Na agricultura, a utilização de adubos orgânicos é uma prática antiga e, no Brasil, sua normatização abrange uma ampla gama de produtos. São regulamentados para uso desde compostos orgânicos simples, como esterco e camas, até produtos processados e misturas, conhecidos como organominerais. Para a utilização da cama de aviário como fertilizante é recomendável realizar análises em laboratório para determinar a umidade e as concentrações de N, P e K, para verificar o balanço de nutrientes (Palhares, 2017).

Na Tabela 2 estão destacadas algumas normas que regulamentam os fertilizantes orgânicos e remineralizadores de solo, fornecendo diretrizes para a utilização desses insumos na agricultura.

Tabela 2 - Regulamentações de Fertilizantes orgânicos e remineralizadores de solo.

Regulamentação	Informações
Instrução Normativa (IN) N° 61 (MAPA SDA) de 08 de julho de 2020.	Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura.
Instrução Normativa (IN) N° 27 (MAPA SDA) de 05 de junho de 2006 (Alterada pela IN SDA N° 7, de 12/04/2016, republicada em 02/05/2016).	Estabelece limites quanto às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninha.
Instrução Normativa (IN) N° 3 (MAPA SDA) de 26 de janeiro de 2015.	Aprova os métodos oficiais para realização de ensaios em amostras oriundas do controle oficial de fertilizantes e corretivos, constantes do Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos.
Instrução Normativa (IN) N° 5 (MAPA) de 10 de março de 2016.	Estabelece: “as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura”.
Lei N° 12.890, de 10 de dezembro de 2013 - Altera a lei N° 6.894, de 16 de dezembro de 1980.	Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências. Altera a Lei n° 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura

A instrução normativa (IN) nº 25 (MAPA SDA) de 23 de julho de 2009, em seu Art. 2, classificou os fertilizantes orgânicos em simples, mistos, compostos e organominerais de acordo com as matérias-primas utilizadas na sua produção (Brasil, 2009). A classificação dos fertilizantes, bem como as matérias-primas utilizadas na produção de fertilizantes, está na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação dos Fertilizantes Orgânicos Simples, Mistos, Compostos e Organominerais.

Classe	Matérias-primas utilizadas na produção
Classe “A”	Fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura.
Classe “B”	Fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo, resultando em produto de utilização segura na agricultura.
Classe “C”	Fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura.
Classe “D”	Fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

Fonte: Do autor (2022).

REFERÊNCIAS

ABPA (Associação Brasileira de Proteína Animal). **Relatório Anual 2024**. Disponível em: https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2024/04/ABPA-Relatorio-Anual-2024_capa_frango.pdf. Acesso em: 23 abr. 2024.

ALOVISI, A. A. *et al.* Silicatagem no solo e na produtividade da cultura do milho. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, 9:933-950, 2020.

BARBOSA FILHO, M. P. *et al.* Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 325-330, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000200009>.

BEERLING, D. J. *et al.* Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security. **Nat Plants**, 4, n. 3, p. 138-147, 2018.

BIST, Ramesh Bahatur; CHAI, Lilong; YANG, Xiao. Ammonia emissions, impacts, and mitigation strategies for poultry production: A critical review. **Journal of Environmental Management**, 328,2023. DOI: 10.1016/j.jenvman. 2022.116919.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa MAPA Nº 25**, de 23 de julho de 2009. Disponível em: <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229186> Acesso em: 05 jun. 2022.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 29 jun. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa MAPA Nº 46, de 06 de outubro de 2011**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos/legislacao/portugues/instrucao-normativa-no-46-de-06-de-outubro-de-2011-producao-vegetal-e-animal-regulada-pela-in-17-2014.pdf/view>. Acesso em: 05 jun. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Lei Nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112890.htm#:~:text=NR\),%E2%80%9C%20Art.,Abastecimento%2C%20conforme%20dispuser%20o%20regulamento](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112890.htm#:~:text=NR),%E2%80%9C%20Art.,Abastecimento%2C%20conforme%20dispuser%20o%20regulamento). Acesso em: 02 de março 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa MAPA nº 03, de 26 de janeiro de 2015**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-03-de-26-01-2015-aprova-metodos-oficiais-de-fertilizantes-e-corretivos.pdf/view>. Acesso em: 05 jun. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Gabinete da Ministra. **Instrução Normativa MAPA nº 5, de 10 de março de 2016**. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=317444>. Acesso em: 13 mai. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Gabinete da Ministra. **Instrução Normativa MAPA nº 6, de 10 de março de 2016**. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/21393222/do1-2016-03-14-instrucao-normativa-n-6-de-10-de-marco-de-2016-21393092. Acesso em: 02 mar. 2022.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Sistemas de produção de galinhas poedeiras no Brasil, 2019**. Elaboração: Iran José Oliveira da Silva NUPEA – ESALQ/USP. Revisão técnica: Lizie Pereira Buss. MAPA. Julho de 2019. Disponível em: https://eubrdialogues.com/documentos/proyectos/adjuntos/b26c49_X-GUIA-GALINHAS-2019.pdf. Acesso em: 01 jun. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **PIB do setor agropecuário apresentou crescimento de 2% em 2020**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/pib-do-setor-agropecuarioapresentou-crescimento-de-2-em-2020>>. Acesso em: 06 dez. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Gabinete da Ministra. **Instrução Normativa MAPA nº 27, 05 de junho de 2006**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-27-de-05-06-2006-alterada-pela-in-sda-07-de-12-4-16-republicada-em-2-5-16.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2024.

BURT, C. D. *et al.* Flue-gas desulfurization gypsum effects on urea-degrading bacteria and ammonia volatilization from broiler litter. **Poultry science**, v. 96, n. 8, p. 2676-2683, 2017.

BUSATO, Jader Galba *et al.* Can co-application of silicate rock powder and humic-like acid sincreas e nutrient up take and plant growth in weathered tropical soil?. **Acta Agricultura e Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science**, v. 72, n. 1, p. 761-774, 2022.

CARE, Humane Farm Animal. **GALINHAS POEDEIRAS**. 2018. Disponível em: https://certifiedhumane.org/wp-content/uploads/Std18_BR_Poedeiras_Layers_6RP.pdf. Acesso em: 05 jun. 2022.

COCKERILL, Sam A. *et al.* Suitability of litter amendments for the Australian chicken meat industry. **Animal Production Science**, v. 60, n. 12, p. 1469-1481, 2020. <https://doi.org/10.1071/AN19587>.

CURTIS, J. C. D.; LUCHESE, A. V.; MISSIO, R. F. Application of soil remineralizer to poultry litter as an efficient and sustainable alternative for fertilizing maize crop. **Journal of Plant Nutrition**, v. 46, n. 3, p. 423-438, 2023a.

CURTIS, J. C. D.; LUCHESE, A. V.; MISSIO, R. F. Evaluation of microbial activity, N-NH₃ and CO₂ losses in poultry litter treated with basalt rock powder. **International journal of recycling organic waste in agriculture**, v. 12, n. 1, p. 25-35, 2023b.

DE SOUZA SANCHES, D. *et al.* Aditivos no tratamento de dejetos de poedeiras comerciais. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e19410111229-e19410111229, 2021.

DRÓZDŹ, D. *et al.* Management of poultry manure in Poland–Current state and future perspectives. **Journal of Environmental Management**, v. 264, p. 110327, 2020.

EGUTE, N. dos S. *et al.* Estudo do processo da geração de amônia a partir de resíduos avícolas visando a produção de hidrogênio. **Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento**, 2014.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Plano de ação para a sustentabilidade do setor de rochas ornamentais – quartzito**; São Thomé das Letras. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2009. 143 p. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/arquivos/producaosustentavel/plano_de_acao_rochas_ornamentais_quartzitos.pdf. Acesso: 12 ago. 2022.

FERREIRA, B. C. *et al.* Kamafugite from the Alto Paranaíba Province as a multi-nutrient fertilizer. **J. Agric. Sci.**, 12(10), 213, 2020. <http://doi.org/10.5539/jas.v12n10p213>.

FERREIRA, C. de F. S. *et al.* Additives to control the quality of coffee husk poultry litter. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 03, p. 197-206, 2018.

FIGUEROA, M.; SERANTONI, N.; AZEVEDO, M. A. Método simplificado de compostagem para tratamento de cama de frango. **Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**. 13, 1 (abr. 2020), 20–32, 2020. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.1.63697>.

FRANZ, M. R. *et al.* Composição química de cama de aviário condicionada com gesso agrícola ou cal virgem. **Acta Iguazu, [S. l.]**, v. 9, n. 4, p. 24–32, 2020.

HAQUE, F.; SANTOS, R. M.; CHIANG, Y. W. CO₂ sequestration by wollastonite-amended agricultural soils - An Ontario field study. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, 97, p. 13, 2020.

KHAN, Imran *et al.* Silicon: an essential element for plant nutrition and phytohormones signaling mechanism under stressful conditions. **Plant Growth Regulation**, v. 100, n. 2, p. 301-319, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10725-022-00872-3>

KARAMANLIS, Xanthippos *et al.* The effect of a natural zeolite (clinoptilolite) on the performance of broiler chickens and the quality of their litter. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 21.11: 1642-1650, 2008. <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2008.70652>.

LI, H. *et al.* Reduction of ammonia emissions from stored laying hen manure through topical application of zeolite, Al+Clear, Ferix-3, or poultry litter treatment. **Journal of Applied Poultry Research**, v.17, n.4, p.421-431, 2008. <https://doi.org/10.3382/japr.2007-00076>.

LIMA, Claudivan C. *et al.* Chemical characterization of residues from biodiesel production composted with mineral addition. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 334-341, 2009.

LOCH, F. C. *et al.* Qualidade da cama de frango submetida a diferentes tratamentos em cinco bandos consecutivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.5, p.1025-1030, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982011000500013>.

LUCCA, W. *et al.* Efeito de diferentes tratamentos químicos em cama para aves de corte. **Revista Agrogeambiental**, [S. l.], v. 4, n. 1, 2012.

MOTTA JUNIOR, R. L. DA. *et al.* Analysis of Potential Applications of Kamafugite Rocks in Fertilizer. In: Li, J., *et al.* **Characterization of Minerals, Metals, and Materials**, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65493-1_22.

NUNES, J. M. G.; KAUTZMANN, R. M.; OLIVEIRA, C. Evaluation of the fertilizing potential of basalt dust wastes from the mining district of Nova Prata (Brazil). **Journal of Cleaner Production**, 84, p. 649-656, 2014.

OLIVEIRA, M. D. *et al.* Ammonia Emission in Poultry Facilities: A Review for Tropical Climate Areas. **Atmosphere**, v. 12, n. 9, p. 1091, 2021. <https://doi.org/10.3390/atmos12091091>.

OLIVEIRA, M. C. D. *et al.* Teor de matéria seca, pH e amônia volatilizada da cama de frango tratada ou não com diferentes aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 32, 951-954, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000400022>.

PALHARES, J. C. P. **Manejo ambiental da cama de aviário**. Folder. Embrapa Pecuária Sudeste, 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/163141/1/MANEJO-AMBIENTAL-DA-CAMA-DE-AVIARIO03082017.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2022.

PEDROSA SOARES, A. C. *et al.* **Recursos Minerais de Minas Gerais OnLine**: síntese do conhecimento sobre as riquezas minerais, história geológica, e meio ambiente e mineração de Minas Gerais. Belo Horizonte: Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMGE) – 2018. Disponível em: <http://www.codemge.com.br>. Acesso em: 04 de jul. 22.

PIZARRO M. *et al.* Efecto del tratamiento de la cama con un aluminosilicato en pollos de carne. **Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú**, v. 20, n. 2, p. 213-220, 2009.

PRADO, J. *et al.* A step towards the production of manure-based fertilizers: Disclosing the effects of animal species and slurry treatment on their nutrients content and availability. **Journal of Cleaner Production**, v. 337, p. 130369, 2022.

RAMOS, C. G. *et al.* A preliminary evaluation of volcanic rock powder for application in agriculture as soil a remineralizer. **Science of The Total Environment**, 512-513, p. 371-380, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.070>.

SANTOS, L. J. DA C.; GOMES É. R.; CASTRO V. R. Uso de pó de rochas silicáticas como fonte de nutrientes para solos da agricultura: revisão. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, c. 11, p. 107, 2021.

SANTOS, L. C. dos *et al.* O papel do silício nas plantas. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 7, 2021.

SILVA, I.J. de O.; ABREU, P. G.; MAZZUCO, H. Manual de boas práticas para o bem-estar de galinhas poedeiras criadas livres de gaiola. **Embrapa Suínos e Aves-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1127416/manual-de-boas-praticas-para-o-bem-estar-de-galinhas-poedeiras-criadas-livres-de-gaiola>. Acesso em: 18 abr. 2022.

SILVA, V. N. *et al.* Solubility curve of rock powder inoculated with microorganisms in the production of biofertilizers. **Agriculture and Natural Resources**, v. 51, n. 3, p. 142-147, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2017.01.001>.

SOUZA, F. N. S. *et al.* Efeitos condicionador e nutricional de um remineralizador de solos obtido de resíduos de mineração. **Agri-Environmental Sciences**, v. 3, n. 1, p. 1-14, 2017.

SOUSA, F. C. *et al.* Medidas para minimizar a emissão de amônia na produção de frangos de corte: revisão. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, 10 (1), 51-61, 2016.

SOUZA, M. E. P. *et al.* Rock Powder Can Improve Vermicompost Chemical Properties and Plant Nutrition: an On-farm Experiment. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 49, n. 1, p. 1-12, 2018.

STRAATEN, P. V. Distribution of agromineral resources in space and time—a global geological perspective. **Pesqui. Agropecu. Bras.**, 57, 2022. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.01453>.

THEODORO, S. H. *et al.* Rochas basálticas para rejuvenescer solos intemperizados. **Revista Liberato**, 22(37):45-58, 2021.

VAZ, C. S. L. *et al.* Cama de frangos reutilizada: geração de amônia durante intervenções no intervalo entre lotes. 2024. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Suínos e Aves**. Concórdia, SC / agosto, 2024. ISSN 1678-8842. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1166200/1/final10332-cama-de-frangos-reutilizadas.pdf>. Acesso em: 02 set. 2024.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1 - UTILIZAÇÃO DE PÓ DE KAMAFUGITO E REJEITO DE QUARTZITO (SÍLICA - SiO_2) PARA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE AMÔNIA EM CAMA DE AVES

Artigo formatado de acordo com a NBR 6022 (ABNT, 2018).

RESUMO

A alta concentração de amônia nos galpões de aviários é resultante da decomposição microbiana dos dejetos. Em uma granja de postura em Três Corações-MG, um estudo foi conduzido para avaliar a redução de amônia no ambiente utilizando rejeito de quartzito com teor de SiO_2 de 98% e remineralizador kamafugito com teor de SiO_2 de 35%, como aditivos na cama de aves de maravalha. Inicialmente, foi avaliada a amônia volátil (AV) em relação às médias de temperatura (T) com cortinas abertas e cortinas fechadas na cama de maravalha. Ocorreu diferença significativa ao avaliar a AV; as médias de temperatura T e AV foram: 23,6°C e 7,5ppm com cortinas abertas e 16,7°C e 16,9 ppm com cortinas fechadas. Realizou-se posteriormente um delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos utilizando cortinas fechadas: (T1) cama de aviário de maravalha; (T2) cama de aviário de maravalha com adição de 23% de pó de quartzito #200; e (T3) cama de aviário com maravalha e adição de 23% de pó de kamafugito#200. Foram realizadas avaliações com três repetições em cada tratamento para avaliar a AV e T ao longo do tempo. Analisando os tratamentos com médias de T de 19,00 °C, verificou-se que não houve diferenças significativas nos resultados com as cortinas fechadas para AV: T1 (7,8 ppm); T2 (6,8 ppm) e T3 (7,7ppm). No entanto, no galpão, com cortinas fechadas a AV ficou dentro dos níveis aceitáveis (até 10 ppm). Apesar da ventilação deficiente e da maior T em relação a 1 etapa do estudo, ocorreu uma redução de amônia no ambiente do galpão. Mesmo com a tendência de aumento da emissão de amônia volátil em galpões fechados e ao longo do tempo nas camas aviárias, devido à maior quantidade de excrementos. O rejeito de kamafugito (23%) e o pó de quartzito (23%) junto à maravalha podem ser utilizados em cama de aviários por serem produtos inertes para reter amônia na cama de aviário, considerando a viabilidade econômica dos aditivos e a disponibilidade regional dos materiais, pensando-se no custo. Sendo que em etapa posterior a este estudo foi realizada análise do composto final formado após compostagem do resíduo da cama de aviário, para verificar o teor de nutrientes.

Palavras-chave: amônia volátil, ventilação, cama de aviário, rejeitos minerais, remineralizador.

1 INTRODUÇÃO

Os criadores de galinhas precisam ter cuidados básicos com o ambiente de forma a garantir as necessidades das aves e, nesse sentido, algumas recomendações aos avicultores são relacionadas à qualidade da cama aviária e às condições climáticas da região da granja. A cama de aviário é a denominação do material utilizado no piso onde se acumulam excrementos avícolas, penas e alimentos (Care, 2018).

A cama de aviário possui a função de absorção de impacto às aves, manutenção de temperatura, absorção de água e incorporação de fezes desses animais. Sua composição, assim como a utilização de aditivos misturados à maravalha é importante, pois possibilita o controle do nível de amônia dos galpões, a absorção da umidade e a manutenção da temperatura, evitando também a proliferação de agentes transmissores de doenças e insetos. Portanto, o substrato da cama deve ser de material e tamanho de partícula adequado e ser de boa qualidade (Silva, Abreu & Mazzuco 2020; Care, 2018). A Figura 3-1 mostra o galpão de galinhas utilizado no experimento utilizando a cama de aviário de maravalha.

Figura 1 - Galpão com as galinhas do experimento mostrando a cama de aviário de maravalha.



Fonte: Do autor (2022).

A decomposição dos resíduos incorporados na cama de aviário gera gases como a amônia, e as excretas das aves e a umidade da cama e do ambiente são os principais fatores que influenciam a emissão de amônia em um galpão (Oliveira *et al.*, 2021; Vilela *et al.*, 2020).

A amônia gerada em empreendimentos avícolas pode afetar a saúde de animais e de seus cuidadores, além de causar impactos ao emitir poluentes atmosféricos como na formação de óxidos de nitrogênio, que são gases de efeito estufa. Dados da América do Sul apontam que a maior parte da emissão de amônia vem da agricultura e da criação de animais, a amônia forma partículas finas no ar e acidifica o solo e os corpos d'água após deposição, prejudicando o meio ambiente e os ecossistemas (Bist, Chai, Yang, 2023). O controle e o monitoramento das emissões de amônia são importantes para sua redução (Oliveira *et al.*, 2021).

As técnicas de manejo do ambiente como ventilação, manejo da cama, controles de pH, temperatura e umidade, reduzem a emissão de amônia e a utilização de aditivos na cama de frango agindo como condicionantes químicos, é uma alternativa para a redução da volatilização da amônia (Care, 2018; Sousa *et al.*, 2020; Gonçalves *et al.*, 2019; Silva, Abreu & Mazzuco, 2020; Souza *et al.*, 2016).

A escolha do material para compor a cama de aviário deve ser viável economicamente aos criadores, levando em consideração a oferta da região e o custo. A maravalha é empregada por possuir boas características como cama frango, sendo um dos materiais mais utilizados no Brasil por ter um bom resultado em relação à manutenção do pH e umidade nos galpões (Brito *et al.*, 2016). Entretanto a maravalha (de madeira não tratada) é também usada em atividades de pecuária, provocando concorrência pelo produto e aumento do custo. Assim, surge demanda da avicultura por materiais alternativos descartados nas indústrias ou atividades agrícolas (Valentim *et al.*, 2020).

Nesse sentido, a utilização do rejeito de quartzito (sílica-SiO₂) quando utilizado junto com a maravalha é importante, por ser uma alternativa ao aproveitamento de um produto acumulado como rejeito disponível em grande quantidade na região do estado de Minas Gerais. O beneficiamento de “Pedras São Tomé” é responsável por uma grande quantidade de rejeitos que formam montanhas de materiais acumulados ao longo dos anos sendo que os impactos ambientais causados pela mineração podem ser minimizados com a utilização desses resíduos. Do ponto de vista químico não foram encontrados contaminantes significativos no pó de quartzito. Os teores de SiO₂ estão entre 95% e 98% (FEAM, 2009).

Os resíduos de pó de quartzito beneficiados são comercializados para vários setores, como indústria cerâmica, tintas, refratários e jardinagem, fornecendo produtos personalizados. No entanto, não há, até o momento, estudos sobre a utilização desses resíduos para a redução de amônia em camas de aviário (SA Beneficiamento, 2023).

Da mesma maneira, os kamafugitos compõem um grupo de minerais vulcânicos ultrapotássicos, subsaturadas em silício (Si) encontradas nos estados de Minas Gerais e Goiás,

que por sua composição e características de liberação lenta de nutrientes estão sendo utilizados como fonte alternativa de fertilizantes com potássio, fósforo e outros nutrientes importantes para a agricultura (Motta Junior *et al.*, 2021). Como verificado nos laudos de análise o pó de quartzito tem teor SiO_2 de 99% e o de kamafugito de 35%.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo, utilizar o pó de quartzito e o remineralizador kamafugito como aditivo na cama de aviário junto com a maravalha e analisar os efeitos dos tratamentos quanto à emissão de amônia, a influência da temperatura ambiente, do pH e da umidade, durante a fase de postura das aves na granja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da área e montagem do estudo

O experimento foi realizado em uma granja localizada no município de Três Corações, sul do estado de Minas Gerais. O local possui clima regional Tropical de Altitude (Cwa) e a altitude é de 839m (IBGE, 2018).

As dimensões do galpão da granja (Figura 2) são: 21 metros de comprimento por 6 metros de largura, pé direito de 3 metros com telha do tipo duas águas, coberto com telhas de fibrocimento. A orientação solar é norte – sul, o galpão tem ventilação natural e as cortinas são fechadas durante o período da noite quando a temperatura diminui.

Figura 2 - Galpão da Granja



Fonte: Do autor (2022).

No experimento, a cama de aviário foi montada com maravalha de primeiro uso com altura de 6 cm. As galinhas foram criadas soltas na área de pastagem e acesso livre ao galpão durante o dia, ficando fechadas no local durante a noite. Foram aproximadamente 900 poedeiras das linhagens Embrapa 51 e Azur que no início do trabalho tinham 189 dias. O experimento seguiu as diretrizes ARRIVE (*Animal Research: Reporting of In Vivo Experimentos*) sendo realizados de acordo com a Lei de Animais (Procedimentos Científicos) do Reino Unido de 1986 e diretrizes associadas, Diretiva 2010/63/UE experimento com animais (European Commission, 2010).

A ração da fase de postura utilizada durante a pesquisa teve 17% de proteínas. Cada ave ingeriu em média 130 g de ração por dia, completando sua alimentação natural com verduras

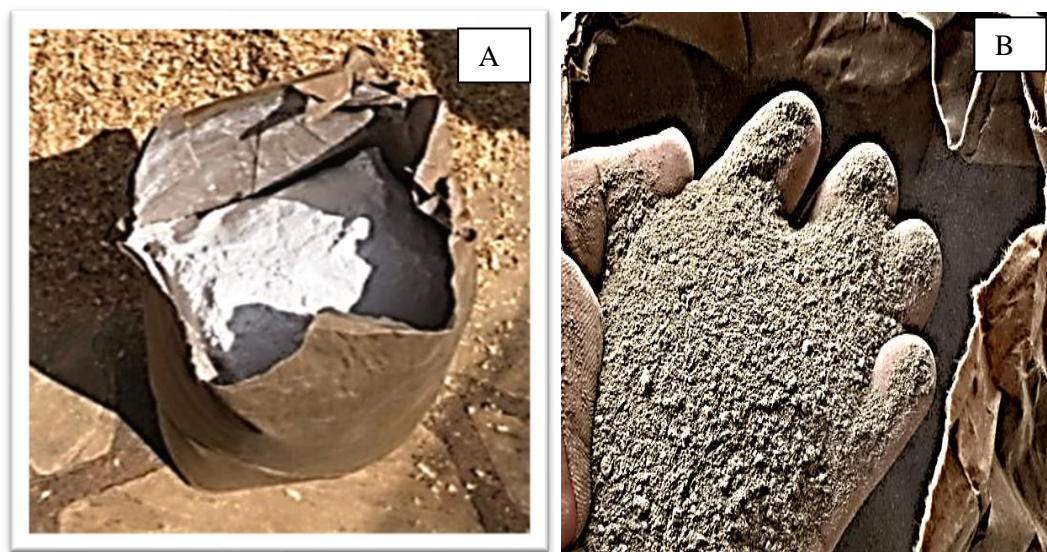
produzidas na horta e pastagem. As duas etapas do trabalho foram aplicadas em condições semelhantes de dieta, manejo e troca da cama de aviário.

2.2 Aditivos utilizados nos tratamentos

O pó de quartzito utilizado como aditivo foi disponibilizado pela empresa localizada na zona rural do município de São Tomé das Letras. De acordo com informações da empresa 25% do material extraído na lavra a céu aberto em São Tomé das Letras é encaminhado para a serraria. Entretanto, devido à sua coloração amarela, apenas 2% do material é utilizado, sendo que a preferência é por uma coloração branca. O procedimento de beneficiamento do quartzito envolve principalmente a moagem do resíduo rochoso, transformando-o em um material inerte com pequenas partículas de malhas diferentes. Dados da empresa em relação ao beneficiamento apontam que os materiais utilizados na pesquisa têm granulometria #200. O custo por quilo do produto em julho de 2023 era de cerca de R\$ 430,00 reais a tonelada em média.

Nas análises físico-químicas e mineralógica do pó de quartzito 200# o resultado para o teor de SiO_2 foi de 99%, e para outros elementos os teores deram muito baixos. A área superficial específica média é de $0,68 \text{ (m}^2/\text{g)}$ e a capacidade de troca de cátions (CTC) é $0,5 \text{ meq/100g}$. A Figura 3 mostra os materiais pó de quartzito e Kamafugito utilizados no experimento da cama de aviário.

Figura 3 – Materiais utilizados nos experimentos da cama de aviário. (A) Pó de quartzito (B) Kamafugito.



Fonte: Do autor (2022).

O produto remineralizador multinutriente kamafugito é um produto natural produzido no município de Carmo do Paranaíba, Minas Gerais. De acordo com informações da empresa nas etapas de mineração e beneficiamento não utilizam nenhum tipo de recurso hídrico e devido ao grau de intemperismo da rocha não há necessidade do uso de explosivos. O intemperismo influencia as características físicas, químicas e biológicas do produto positivamente. O custo do produto em julho de 2023 era de cerca de R\$ 350,00 reais a tonelada (KP Fértil, 2023).

De acordo com o certificado de análise química do kamafugito, a concentração de SiO_2 é de 34,79%, Al_2O_3 de 8,53%, Fe_2O_3 de 21,59%, TiO_2 de 8,3%, CaO é de 6,03%, MgO é de 6,34%, Na_2O é de 0,15% e K_2O é de 3,84%. Pela análise mineralógica estão presentes quartzo (SiO_2), ferrita de magnésio (MgFe_2O_4), fosfato de ferro (FePO_4), hematita (Fe_2O_3), nontronita ($\text{Na}_{0,3}\text{Fe}_2((\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O})$), ferrato de potássio (K_2FeO_4), augita ($\text{CaFe}_2+\text{Si}_2\text{O}_6$), fosfito de hidrogênio ($\text{C}_6\text{H}_{15}\text{O}_3\text{P}$). A área superficial específica média é de $30,54 \text{ m}^2/\text{g}$ e a capacidade de troca de cátions de $10,0 \text{ meq}/100\text{g}$.

2.3 Delineamento estatístico e montagem do experimento

A divisão das áreas de coleta de dados do experimento foi realizada de acordo com o esquema proposto na Figura 4.

Figura 4 - Divisão do galpão para tratamentos da cama de aviário.

7 m	7 m	7 m	
Área 1 (tratamento 1)	Área 2 (tratamento 2)	Área 3 (tratamento 3)	2 m
Área 4 (tratamento 2)	Área 5 (tratamento 3)	Área 6 (tratamento 1)	2 m
Área 7 (tratamento 3)	Área 8 (tratamento 1)	Área 9 (tratamento 2)	2 m

Fonte: Do autor (2023).

A distribuição dos locais de coleta de dados e amostras foi organizada da seguinte maneira: foram estabelecidas nove áreas, sendo três repetições por tratamento (Figura 4), em três pontos de cada área foi quantificado o teor de AV e a T no ambiente no galpão totalizando 27 pontos de análise. Para melhor delimitação, foram demarcadas linhas físicas no interior do galpão.

Foi feito um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com os três tratamentos colocados nas áreas conforme o descrito na Tabela 1: cama de aviário com maravalha; cama de aviário com maravalha com adição de pó de quartzito #200 em uma proporção de 23% da cama; cama de aviário com maravalha com adição de kamafugito (Kp Fértil, 2023) #200 na proporção de 23% da cama; com 3 (três) repetições de cada tratamento.

Tabela 1 - Composição dos tratamentos com a composição da cama no aviário e distribuição nas áreas do galpão.

Cama	Composição	Quantidade / custo	Localização no galpão
Tratamento 1	Cama de aviário com maravalha (convencional da granja)	100 kg de Maravalha Custo: 100 reais	Áreas: 1, 6 e 8
Tratamento 2	Cama de aviário com maravalha Pó de quartzito (SiO ₂) #200 (23%)	85 kg Maravalha 25,5 kg (SiO ₂) Custo: 85,00 + 10,96 95,96 sem frete	Áreas: 2, 4 e 9
Tratamento 3	Cama de aviário com maravalha Kamafugito #200 (23%)	85 kg Maravalha 25,5 kg KP fértil Custo: 85,00 + 8,92 93,92 sem frete	Áreas: 3, 5 e 7

Fonte: Do autor (2023).

2.4 Coleta de dados

A coleta de dados do experimento foi realizada em duas etapas: na primeira a medição da T ambiente e AV foram avaliadas no galpão com cortinas abertas e fechadas, entre os dias 09 e 20 de junho de 2022, com o tratamento convencional da cama de galinha, composta apenas de maravalha. A segunda etapa do experimento foi montada em 11 de agosto de 2022, dia zero, com a colocação dos três tratamentos na troca da cama do aviário com avaliação da AV e T de 12 de agosto de 2022 até 06 de setembro de 2022.

Para as medições da AV e T como referência foi adotada à altura do comedouro das galinhas, que foi de 0,30 m para as medições e utilizou-se o sensor digital eletroquímico de precisão da marca *Smart Sensor* para quantificar o teor de AV e a T.

Para análise do pH e umidade da cama de aviário, foram coletadas duas amostras de 20g da cama de aviário de cada área nas semanas de 27/08/22 a 05/10/22 (dois pontos por área), homogeneizadas e encaminhadas para análise dos parâmetros, pH e umidade. A determinação do pH foi realizada em amostras de 10 g de cama de frango homogeneizadas, diluídas em 25 mL de água destilada e submetidos à agitação. Após repouso por uma hora foi realizada a leitura em pHmetro da marca Micronal, seguindo a referência do estudo de Egute (2014).

Para a determinação de umidade, 10 g das amostras homogeneizadas foram levadas a estufa de circulação de ar por 24 h a 100°C. Após o resfriamento da amostra a temperatura ambiente, foi feita a pesagem do material para obtenção da diferença teor de água (EMBRAPA, 1997).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 exibe os resultados dos testes estatísticos aplicados para a verificação de diferenças entre os grupos de cortinas abertas e cortinas fechadas para as variáveis amônia volátil (ppm) e temperatura (°C).

Tabela 2 - Comparação das médias (ou medianas) de amônia volátil e temperatura entre cortinas abertas e fechadas, com suas respectivas estatísticas (t/W) e p-valores.

Variável	Cortina	Média (Mediana)	Estatística (t/W)	Valor de p
Amônia volátil	Aberta	7,51 ppm	t = -10,17	8,46 x 10 ⁻¹¹
	Fechada	16,91 ppm		
Temperatura	Aberta	23,65° C	W = 972	2,66 x 10 ⁻¹⁰
	Fechada	16,75° C		

Fonte: Do autor (2023).

No caso da amônia volátil, o teste t foi realizado, pois atendeu aos pressupostos de normalidade e homogeneidade das variâncias. O resultado indicou uma diferença estatisticamente significativa entre os grupos, com um valor de $t = -10,17$ e um p -valor = $8,46 \times 10^{-11}$, ou seja $< 0,01$. Sendo este inferior ao nível de significância de 0,05. As médias estimadas foram de 7,51 ppm para o grupo com cortinas abertas e 16,91 ppm para o grupo com cortinas fechadas, indicando que o nível de amônia volátil é significativamente maior quando as cortinas estão fechadas.

Em relação à temperatura (°C), como os pressupostos de normalidade e homogeneidade das variâncias foram violados, foi realizado o teste de Mann-Whitney, um teste não paramétrico apropriado para essa situação. O teste resultou em um valor de $W = 972$ e um p -valor = $2,66 \times 10^{-10}$, ou seja $< 0,01$. O que indica uma diferença estatisticamente significativa entre as distribuições de temperatura nos grupos de cortinas abertas e fechadas, com medianas de 23,65°C para o grupo com cortinas abertas e 16,75°C para o grupo com cortinas fechadas. Assim, pode-se afirmar que há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de que as distribuições de temperatura são iguais entre os dois grupos, apontando para uma influência significativa do estado das cortinas na temperatura medida no ambiente.

Com as cortinas fechadas os níveis de amônia no galpão ficaram acima de 10ppm, devido à diminuição de circulação de ar. Durante o dia, com as cortinas abertas e maior circulação de ar, a concentração de amônia recebeu influência do vento e ficou abaixo de 10 ppm mesmo com maior temperatura durante o dia que a noite. Como reportado por Vilela (2020), a temperatura, umidade e pH são fatores que influenciam o processo de geração,

transformação e volatilização da amônia, além da quantidade de dejetos e condições de baixa ventilação em galpões aviários. Em relação à exposição de amônia, é desejável uma concentração de até 10 ppm medida na altura de respiração das aves. Concentração de amônia entre 11 ppm e 20 ppm em exposição contínua, podem causar estresse e distúrbios nas aves e aumentando a predisposição de doenças (Care, 2018; Silva; Abreu; Mazzuco, 2020).

A ventilação nas instalações aviárias é uma das mais importantes ações de controle de amônia, entretanto em locais frios, como no local da pesquisa, é necessário manter os ambientes fechados durante a noite para evitar quedas de temperaturas, o que pode prejudicar as aves (Vilela, 2020), por este motivo é importante utilizar materiais capazes de absorver ou até mesmo adsorver a amônia gerada no ambiente.

A segunda etapa do experimento teve início em 12/08/22 com colocação dos aditivos; pó de quartzito e kamafugito e foi realizada com as cortinas fechadas para evitar a influência do vento verificada no experimento realizado em junho de 2022.

Na Tabela 3 - estão os resultados da análise de variância (ANOVA) que foi conduzida para avaliar se existiam diferenças significativas nos níveis de amônia volátil (ppm) e temperatura (°C) entre os três tratamentos (dados completos estão disponíveis nos materiais suplementares). Foram coletadas informações com as cortinas fechadas entre 12/08/22 e 13/09/22, período que foi possível manter as cortinas fechadas durante a noite.

Tabela 3 - Médias de Amônia Volátil (ppm) e Temperatura (°C) por Tratamento, com Estatísticas F da ANOVA (cortinas fechadas).

Variável	Tratamento	Média	Estatística F	Valor de p
Amônia Volátil	Tratamento 1	7,80	0,23	0,79
	Tratamento 2	6,83		
	Tratamento 3	7,67		
Temperatura	Tratamento 1	19,03	0,02	0,98
	Tratamento 2	19,00		
	Tratamento 3	18,93		

Fonte: Do autor (2023).

No caso da amônia volátil, o resultado da ANOVA indicou que não houve diferença significativa entre os tratamentos, com um valor de $F = 0,23$ e $p = 0,79$, sugerindo que os três tratamentos não impactaram significativamente os níveis de amônia volátil. A normalidade dos resíduos foi verificada através do teste de Shapiro-Wilk, que apresentou um valor de $W = 0,98$ e $p = 0,83$, confirmando que os resíduos seguem uma distribuição normal, o que valida o uso da ANOVA para essa variável. Além disso, a homogeneidade das variâncias foi testada pelo

teste de Levene, que resultou em $p = 0,51$, indicando que as variâncias entre os grupos são homogêneas, outro pressuposto essencial para a validade da ANOVA.

Em relação à temperatura, a ANOVA também não revelou diferenças significativas entre os tratamentos, com $F = 0,02$ e $p = 0,98$. Entretanto, a normalidade dos resíduos foi violada, conforme evidenciado pelo teste de Shapiro-Wilk, que apresentou $W = 0,89$ e $p = 0,0004696$. Essa violação sugere que os resíduos não seguem uma distribuição normal, o que compromete a validade dos resultados da ANOVA para essa variável. Embora o teste de Levene tenha confirmado a homogeneidade das variâncias entre os grupos, com $p = 0,9458$, a violação do pressuposto de normalidade justifica a necessidade de utilizar um teste não paramétrico, como o teste de Kruskal-Wallis, para verificar de maneira mais robusta se existem diferenças nos níveis de temperatura entre os tratamentos.

Diante desses resultados, conclui-se que os tratamentos não exerceram influência significativa sobre os níveis de amônia volátil, e a ANOVA foi apropriada para essa variável, dado que todos os pressupostos foram atendidos. No entanto, para a variável temperatura, devido à violação da normalidade dos resíduos, a ANOVA não pode ser considerada uma análise robusta, sendo mais adequado o uso de testes não paramétricos para uma verificação mais confiável das possíveis diferenças entre os tratamentos.

Os resultados apresentados na Tabela 4 referem-se à aplicação do teste de Kruskal-Wallis para verificar a existência de diferenças significativas entre as distribuições das temperaturas para os três tratamentos.

Tabela 4 - Resultados do Teste de Kruskal-Wallis para Comparação das Temperaturas entre Tratamentos.

Tratamento	Temperatura	Estatística χ^2	Valor de p
Tratamento 1	19,00		
Tratamento 2	19,00	0,12	0,94
Tratamento 3	19,00		

Fonte: Do autor (2023).

O teste resultou em uma estatística qui-quadrado (χ^2) de 0,12 com um p-valor de 0,94, indicando que não há diferenças significativas entre os tratamentos em relação à variável temperatura.

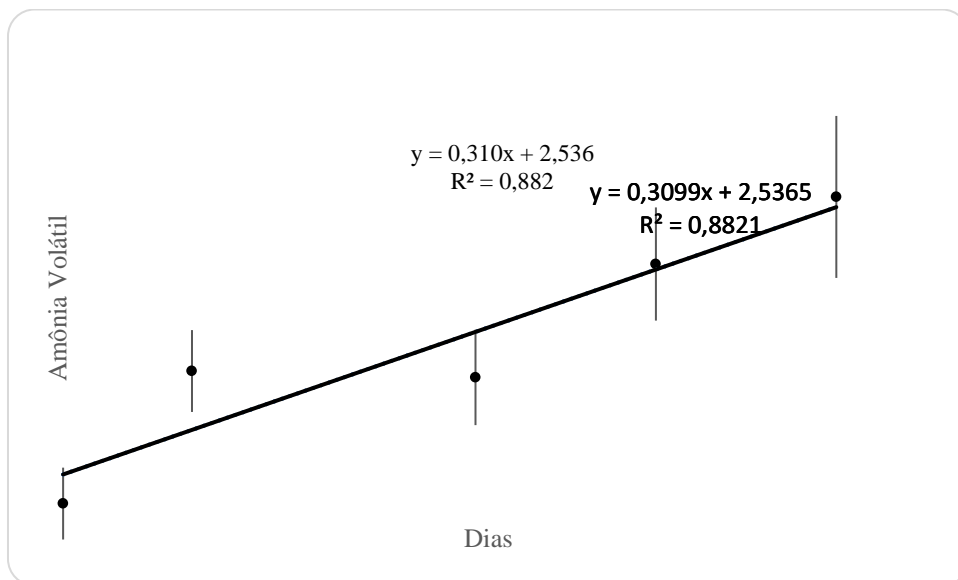
A mediana da temperatura foi idêntica para os três tratamentos, sendo de 19,00°C em todos os casos. O valor elevado do p-valor confirma que as diferenças observadas entre as

distribuições são puramente aleatórias e não estatisticamente significativas. Desse modo, a hipótese nula, que assume a igualdade das distribuições de temperatura entre os tratamentos, não pode ser rejeitada.

Portanto, conclui-se que, com base nos dados analisados, os três tratamentos têm resultados semelhantes em termos de temperatura, não havendo evidências de que um tratamento se destaque em relação aos outros nesse quesito.

A Figura 5 ilustra a relação entre os dias e a concentração de amônia volátil no ambiente. A linha de tendência linear ajustada ao conjunto de dados, acompanhada pelas barras de erro, apresenta uma inclinação positiva significativa ($y = 0,310x + 2,536$) e um coeficiente de determinação (R^2) de 0,882. Esse valor de R^2 indica que 88,20% da variação observada na concentração de amônia volátil pode ser explicada pelos dias. A equação de regressão sugere um aumento linear na concentração de amônia ao longo do tempo, com uma tendência clara de elevação à medida que os dias passam. As barras de erro, por sua vez, demonstram a variabilidade em torno das médias estimadas, mas mesmo assim a relação entre os dias e a amônia volátil mantém-se robusta e significativa.

Figura 5 - Relação entre Dias e Amônia Volátil com Linha de Regressão Linear e Barras de Erro.



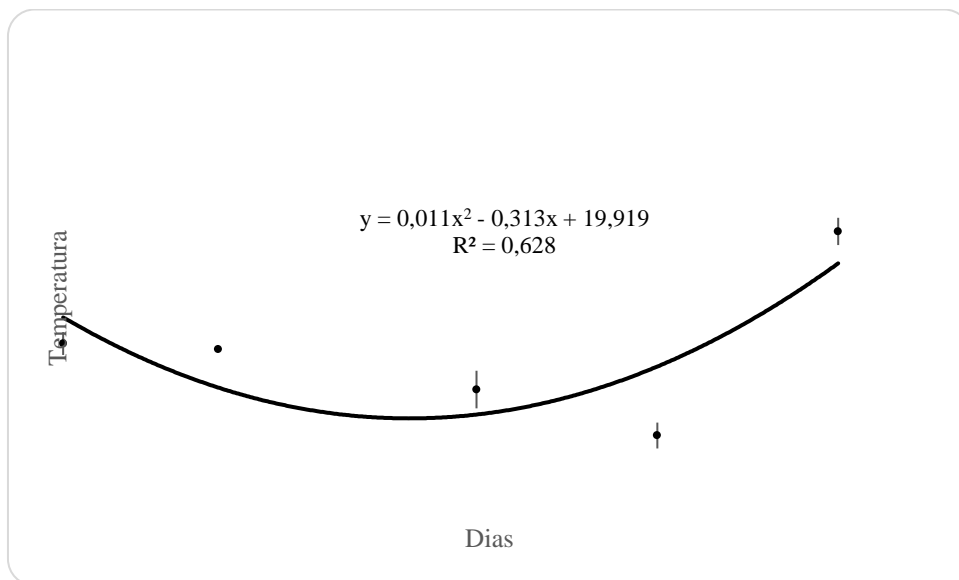
Fonte: Do autor (2023).

Na Figura 6, a relação entre os dias e a temperatura ambiente é apresentada com uma regressão polinomial de segundo grau ($y = 0,011x^2 - 0,313x + 19,919$), evidenciando uma curva côncava com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,628. Esse valor de R^2 sugere que cerca

de 62,80% da variação na temperatura pode ser explicada pelo modelo polinomial ajustado. A forma da curva indica uma leve queda na temperatura nos dias iniciais, seguida por um aumento nos dias posteriores. A presença das barras de erro reflete a variação nas temperaturas observadas, e embora o ajuste polinomial apresente um bom grau de explicação dos dados, a dispersão das barras sugere alguma variabilidade entre as observações. Em síntese, a temperatura parece ter uma relação não linear com o tempo, com uma tendência de recuperação gradual após a queda inicial.

Mesmo com a tendência de aumento de AV no decorrer dos dias, com os aditivos a concentração de amônia no galpão manteve-se abaixo do limite de 10 ppm. Egute (2014) analisou os fatores que influenciaram a volatilização da amônia e mostrou que a temperatura é um dos parâmetros que aumentam sua emissão. O aumento da temperatura afeta a transformação do ácido úrico na cama de aviário devido ao aumento da população microbiana que atua na mineralização da matéria orgânica, que está relacionada também com a maior quantidade de excretas de aves. Por não ter carga iônica em espécie gasosa a amônia é facilmente liberada na atmosfera (Vilela *et al.*, 2020).

Figura 6 - Relação entre Dias e Temperatura com Curva de Regressão Polinomial e Barras de Erro.



Fonte: Do autor (2023).

As faixas de temperatura estavam adequadas à fase de produção das galinhas poedeiras, já que as faixas adequadas de temperatura ambiente na fase de produção de galinhas poedeiras são de 17 °C a 22 °C (Silva; Abreu; Mazzuco, 2020). Características como temperatura ambiente

podem afetar a qualidade da cama de frango, quanto maior a temperatura ambiente a tendência é o aumento da emissão de amônia, o que não foi verificado no experimento (Gonçalves *et al.*, 2019).

Os valores das medianas de pH e umidade nos tratamentos estão na Tabela 6 A medição de pH e umidade da cama de aviário ocorreu, semanalmente, entre 27/08/22 e 05/10/22.

Os resultados apresentados na Tabela 5 referem-se à comparação dos valores de pH e umidade entre três tratamentos, utilizando o teste de Kruskal-Wallis. Este teste é uma alternativa não paramétrica à ANOVA, sendo apropriado para dados que não atendem ao pressuposto de normalidade.

Tabela 5 - Resultados do Teste de Kruskal-Wallis para pH e Umidade entre os Tratamentos.

Variável	Tratamento	Medianas	Estatística χ^2	Valor de
pH	Tratamento 1	7,50	0,46	0,79
	Tratamento 2	7,50		
	Tratamento 3	7,50		
Umidade	Tratamento 1	2,50	4,03	0,13
	Tratamento 2	2,00		
	Tratamento 3	2,50		

Fonte: Do autor (2023).

Para o pH, as medianas dos três tratamentos são idênticas, com valores de 7,50 para cada um deles. A estatística de teste qui-quadrado (χ^2) foi de 0,46, com um p-valor de 0,79, indicando que não há evidências de diferenças significativas entre os tratamentos em relação ao pH. Com um p-valor muito acima do nível de significância convencional de 0,05, a hipótese nula de igualdade entre os tratamentos é mantida, sugerindo que o pH não varia significativamente entre os três grupos analisados.

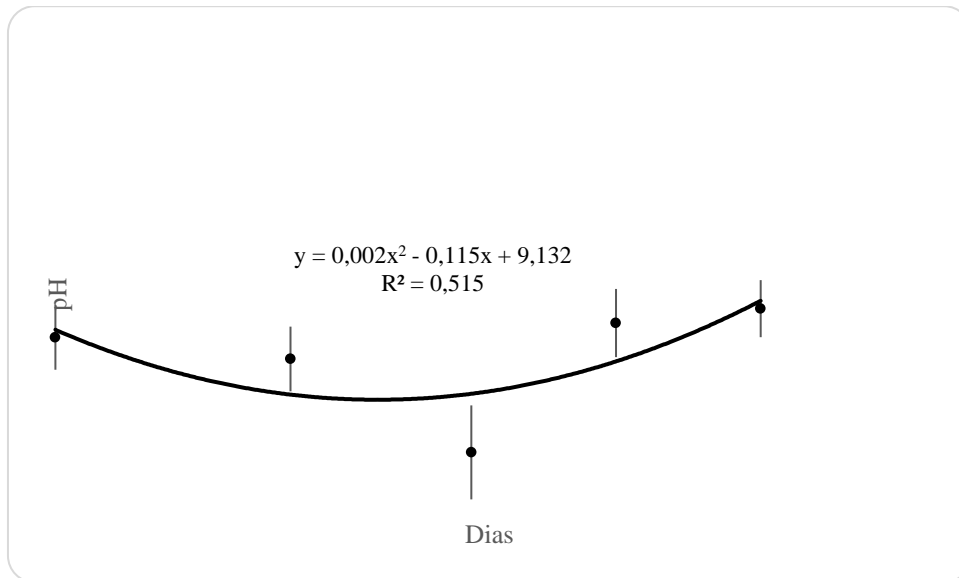
Em relação à umidade, as medianas variam ligeiramente, com o Tratamento 1 e o Tratamento 3 apresentando uma mediana de 2,50, enquanto o Tratamento 2 teve uma mediana um pouco menor, de 2,00. A estatística de Kruskal-Wallis para umidade foi de 4,03, com um p-valor de 0,13. Embora haja uma leve diferença nas medianas, o p-valor indica que essa variação não é estatisticamente significativa ao nível de 0,05. Portanto, também para a umidade, não há evidências suficientes para afirmar que os tratamentos diferem significativamente entre si.

Esses resultados, tanto para o pH quanto para a umidade, sugerem que os três tratamentos são comparáveis, não havendo variações substanciais nos valores medidos dessas

variáveis entre os tratamentos estudados. Isso indica que os tratamentos não tiveram impacto considerável sobre os níveis de pH e umidade nas condições analisadas.

Na Figura 7, observa-se a relação entre os dias e o pH do ambiente representada por uma regressão polinomial de segundo grau ($y = 0,002x^2 - 0,115x + 9,132$). O coeficiente de determinação (R^2) de 0,515 indica que cerca de 51,50% da variação no pH pode ser explicada pela função quadrática ajustada. A curva mostra um comportamento côncavo, no qual o pH diminui levemente até o terceiro dia, atingindo o valor mínimo nesse ponto, e então apresenta um leve aumento nos dias subsequentes.

Figura 7 - Relação entre Dias e pH com Curva de Regressão Polinomial e Barras de Erro.



Fonte: Do autor (2023).

As barras de erro fornecem uma ideia da variabilidade em torno das médias de pH em cada dia observado. Notam-se diferenças sutis nas medidas, mas a curva ajustada sugere uma tendência de flutuação suave, sem grandes oscilações, mantendo o pH relativamente estável ao longo do tempo.

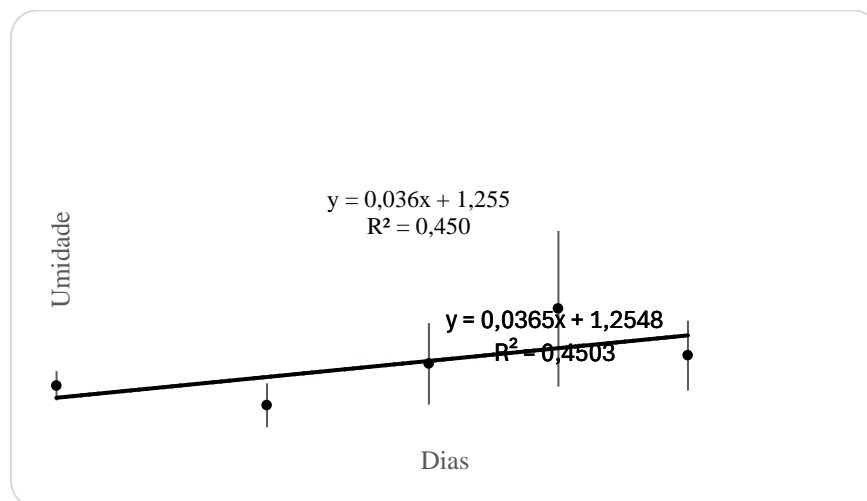
O ajuste polinomial indica que, embora haja uma variação moderada no pH, essa variação não parece ser acentuada, e o pH médio permanece em torno de 7 a 8 durante o período avaliado. Esses resultados podem refletir a estabilidade do pH no ambiente avaliado, mesmo com pequenas variações ao longo dos dias. O pH tem influência em outros parâmetros quando em contato, por exemplo, com a atmosfera natural dos adubos e excrementos, são responsáveis pela conversão do nitrogênio em gás amônia. A liberação de amônia aumenta em meio alcalino (pH acima de 8), sendo que em pH abaixo de 7 é encontrado a maior a concentração de íons H^+

(Egute, 2014). Ao estabilizar o pH abaixo de 7, a maior proporção de íons H^+ na cama aviária reduz a liberação de amônia no ambiente, sendo convertida em íons NH_4^+ (Toppel *et al.*, 2019).

Nesse sentido, produtos que reduzem o pH da cama diminuem volatilização de amônia e a quantidade de microrganismos (Vilela, 2020). O uso de acidificantes de cama pode reduzir de 50 a 80% as emissões de aviários por deixar o pH mais baixo inibindo as atividades de enzimas e microrganismos que geram amônia. Entretanto, vários métodos testados para redução de emissão de amônia não foram considerados sustentáveis por deixar o ambiente com o ar muito ácido ou devido ao elevado custo, por depender, por exemplo, de toneladas de aditivos a serem colocados na cama em cada aviário (Bist; Chai; Yang, 2023). O pH da cama com tratamento feito por pulverização de 0,55 kg de aluminossilicato/ m^2 de cama antes da colocação dos animais no galpão em comparação ao grupo não tratado foi eficaz na neutralização da amônia liberada da cama por até 4 semanas mantendo-se abaixo de 8 (Pizarro *et al.*, 2009), assim como em nosso estudo.

Na Figura 8, é apresentada a relação entre os dias e a umidade no ambiente, com uma linha de regressão linear ajustada aos dados ($y = 0,036x + 1,255$) e um coeficiente de determinação (R^2) de 0,450. Esse valor indica que cerca de 45,00% da variação observada na umidade pode ser explicada pela regressão linear, sugerindo uma tendência de aumento gradual da umidade ao longo do tempo.

Figura 8 - Relação entre Dias e Umidade com Linha de Regressão Linear e Barras de Erro.



Fonte: Do autor (2023).

A equação da regressão sugere que, para cada dia adicional, a umidade aumenta em média 0,036 unidades. No entanto, as barras de erro revelam certa variabilidade nos dados, particularmente nos dias 39 e 47, o que demonstra uma dispersão significativa em torno das

médias de umidade observadas nesses dias. Apesar dessa variação, a inclinação positiva da linha de tendência indica que há um aumento geral da umidade com o passar dos dias.

Esse comportamento pode estar relacionado a fatores ambientais ou de tratamento que influenciam a retenção de umidade ao longo do tempo, com a análise linear sugerindo um padrão de crescimento moderado, porém com flutuações perceptíveis, como evidenciadas pelas barras de erro.

Maior teor de umidade da cama de aviário favorece a decomposição do esterco e a conversão do nitrogênio em amônia (Bist; Chai; Yang, 2023). A umidade no decorrer de 55 dias manteve-se entre 2% de 4% em todos os tratamentos. Umidade em cama de aves não deve estar acima de 30% para serem consideradas favoráveis à criação (Avila *et al.*, 2008). Comparado ao estudo de Pizarro *et al.* (2009) no qual foi avaliado o efeito do tratamento da cama de aviário com aluminossilicato e a umidade da cama permaneceu constante e abaixo de 25% com e sem tratamento, em nosso estudo a umidade estava mais baixa. Em Pizarro *et al.* (2009) verificou-se que a partir de 25 dias, houve aumento da umidade em ambos os casos, porém, sem diferenças significativas. No entanto, o aumento no percentual de umidade da cama de aviário favoreceu o aumento dos níveis de amônia, e o aluminossilicato neutralizou a amônia liberada da cama de aviário apenas durante as primeiras quatro semanas de criação.

Em relação ao pó de quartzito e kamafugito testados como aditivos junto a maravalha em mesma temperatura no ambiente do galpão, foi possível observar que mantiveram as características da maravalha em relação ao pH, umidade e AV, possibilitando seu uso como aditivo.

Analisando os três tratamentos com cortinas fechadas e médias de T de 19°C, de acordo com dados da Tabela 3 os resultados para AV foram: 6,83 ppm com pó de quartzito, 7,67 ppm para o kamafugito e 7,80 ppm para o tratamento com maravalha, sem diferenças significativas. Entretanto os tratamentos combinados indicam a redução de amônia no ambiente do galpão com cortinas fechadas mantendo em média a faixa de AV de 7,43 ppm.

Considerando que a T média aumentou e a AV diminuiu em comparação com os dados de junho de 2022 com cortinas fechadas (T médias de 16,9 e AV de 17 – Tabela 2), os tratamentos combinados foram eficientes para redução de amônia no galpão, mantendo a faixa de AV em níveis aceitáveis de até 10 ppm na altura das aves. Galpões de aviários com AV até 10 ppm são considerados resultados ótimos, sendo que o mais encontrado em alojamentos é na ordem de 10-20 ppm em média (Owada *et al.*, 2007).

Assim como em nosso estudo Vilela *et al.* (2020) verificaram a importância dos aditivos e da composição da cama de aves apontando que é possível reduzir as emissões de amônia no

ambiente com o uso de aditivos e condicionadores na cama em galpões de aviários (Vilela *et al.*, 2020).

A Capacidade de Troca de Cátions (CTC) do kamafugito é 10,0 (meq/100g), vinte vezes maior que a do pó de quartzito que é de 0.5 (meq/100g) possibilitando uma maior superfície de troca de cátions que do pó de quartzito. No estudo de Zhenghu & Honglang (2000) foi demonstrado que a volatilização da amônia é um processo complexo que não pode ser expressa por uma correlação de apenas um coeficiente e a CTC é importante nesse sentido. A CTC e a quantidade de argila, quando analisados em solos na China, inibiram a volatilização da amônia, podendo indicar uma característica do kamafugito relevante em relação à volatilização da amônia.

Entretanto na escolha do material a ser utilizado como cama de aviário deve-se observar além das características do material, a disponibilidade na região e seu custo de aquisição (Gonçalves *et al.*, 2019). Em relação ao custo dos aditivos testados, deve ser analisada a disponibilidade do material na região onde se localiza a granja, já que o custo de frete por tonelada pode compensar a diferença de valores dos aditivos. O valor da cama de aviário apenas com maravalha ficou em R\$1,00/kg, da maravalha com pó de pedra R\$ 0,95/kg e do kamafugito R\$ 0,94/kg, sem considerar o frete.

Como a granja deste estudo está localizada no sul de minas em município com beneficiadoras de quartzito, o pó de quartzito foi à opção mais viável e economicamente mais rentável, já que grande quantidade de rejeitos desse material vem se acumulados ao longo dos anos na região. Assim, a utilização desses rejeitos como aditivos em camas de aviários, torna-se uma alternativa para os produtores de frangos em granjas para a retenção de amônia da cama de aviário, reduzindo sua emissão. Nesse sentido os produtos regionais que são resíduos de outras atividades contribuem para a redução dos impactos ambientais.

4 CONCLUSÃO

A adição de 23% de pó de quartzito e 23% de pó de kamafugito à maravalha na cama de aviário demonstrou eficácia na manutenção do pH abaixo de 8 e da umidade abaixo de 3% ao longo do experimento. Os tratamentos resultaram em concentrações de amônia volátil significativamente inferiores às observadas sem os aditivos, com média de 7,43 ppm em ambiente de pouca ventilação. Esses resultados indicam que a utilização de pós de quartzito e Kamafugito não apenas contribui para a retenção de amônia, mas também não gera efeitos adversos nos parâmetros analisados. A aplicação desses materiais pode representar uma alternativa viável para a geração de renda nas granjas, ao promover a transformação de resíduos em produtos úteis. Fases futuras da pesquisa deverão focar na análise dos compostos orgânicos após a compostagem da cama de aviário, avaliando sua qualidade nutricional em relação aos aditivos utilizados.

REFERÊNCIAS

- AVILA, V. S. D. *et al.* Avaliação de materiais alternativos em substituição à maravalha como cama de aviário. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 37, 273-277, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000200013>.
- BIST, R. B.; CHAI, L.; YANG, X. Ammonia emissions, impacts, and mitigation strategies for poultry production: A critical review. **Journal of Environmental Management**, 328, 2023. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36516703/>.
- BRITO, Daniela Aguiar Penha *et al.* Desempenho produtivo e rendimento de carcaça de frangos criados em diferentes materiais de cama aviária. **Ciência Animal Brasileira**, 17, 192-197, 2016. <https://doi.org/10.1590/1089-6891v17i220736>.
- CARE, Humane Farm Animal. Galinhas Poedeiras, 2018. Disponível em: https://certifiedhumane.org/wp-content/uploads/Std18_BR_Poedeiras_Layers_6RP.pdf. Acesso em: 23 abr. 2022.
- EUROPEAN Commission. Animals used for scientific purposes. **Diretiva 2010/63/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 22 de setembro de 2010, relativa à proteção de animais utilizados para fins científicos**, 2014. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/63/oj>. Acesso em: 17 abr. 2022.
- EGUTE, N. dos S. *et al.* Estudo do processo da geração de amônia a partir de resíduos avícolas visando a produção de hidrogênio. **Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento**, 2014.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>. Acesso em: 19 mai. 2022.
- FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Plano de ação para a sustentabilidade do setor de rochas ornamentais – quartzito; São Thomé das Letras**. Fundação Estadual do Meio Ambiente. - Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2009. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/arquivos/producaosustentavel/plano_de_acao_rochas_ornamentais_quartzitos.pdf. Acesso em: 24 fev. 2022.
- GONÇALVES, N. S. *et al.* Qualidade da cama de frango de corte e a alternativa da acidificação como tratamento. **Nativa**, [S. l.], v. 7, n. 6, p. 828–834, 2019. DOI: 10.31413/nativa.v7i6.7041.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados, 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/tres-coracoes.html>. Acesso em: 17 abr. 2022.
- MOTTA JUNIOR, Rodrigo Lima da. *et al.* Analysis of Potential Applications of Kamafugite Rocks in Fertilizer. In: Li, J., *et al.* Characterization of Minerals, Metals, and Materials. **The**

Minerals, Metals & Materials Series. Springer, Cham., 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65493-1_22.

OLIVEIRA, Matheus Dias *et al.* Ammonia Emission in Poultry Facilities: A Review for Tropical Climate Areas. **Atmosphere**, v. 12, n. 9, p. 1091, 2021. <https://doi.org/10.3390/atmos12091091>.

OWADA, Adriana N. *et al.* Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 611-618, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000400003>. Acesso em: 02 jun. 2022.

PIZARRO, Melissa *et al.* Efecto del tratamiento de la cama con un aluminosilicato en pollos de carne. **Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú**, v. 20, n. 2, p. 213-220, 2009.

KP Fertil. Remineralizador de Solo Multinutriente. **Sobre Nós | KP Fértil - Remineralizador Solo Multinutriente KP Fértil**, 2023. Disponível em: <http://en.kp-fertil.com/about-us/>. Acesso em: 14 jan. 2023.

R TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna Core, Austria, 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 24 ago. 2022.

SA BENEFICIAMENTO. **Indústria e Beneficiamento Mineral Ltda.** São Thomé das Letras/MG, 2023. Disponível em: <http://www.sabeneficiamento.com.br/index.html>. Acesso em: 19 dez. 2023.

SILVA, I. J. de O.; ABREU, P. G. de; MAZZUCO, H. Manual de boas práticas para o bem-estar de galinhas poedeiras criadas livres de gaiola. **Embrapa Suínos e Aves-Cartilha (INFOTECA-E)**, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1127416/manual-de-boas-praticas-para-o-bem-estar-de-galinhas-poedeiras-criadas-livres-de-gaiola>. Acesso em: 17 set. 2022.

SOUSA, Fernanda Campus de *et al.* Gas emission in the poultry production. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 5, n. 2, p. 49-55, 2020. <http://dx.doi.org/10.26667/2318-1265jabb.v5n2p49-55>.

SOUSA, F. C. *et al.* Para minimizar a emissão de amônia na produção de frangos de corte: revisão. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, 10 (1), 51-61, 2016. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2016v10n1p51-61>.

TOPPEL, K. *et al.* Effect of pH-lowering litter amendment on animal-based welfare indicators and litter quality in a European commercial broiler husbandry. **Poultry Science**, 98(3), 1181-1189, 2019.

VALENTIM, J. K. *et al.* Qualidade da carne de frangos de corte submetidos a diferentes tipos de cama com inclusão de gramínea. **Research, Society and Development**, 9(5), 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i5.2991>.

VILELA, Monique de Oliveira *et al.* Nitrogen transformation stages into ammonia in broiler production: sources, deposition, transformation, and emission into the environment.

Dynarev.fac.nac.minas, Medellín, v. 87, n. 214, p. 221-228, 2020.

<https://doi.org/10.15446/dyna.v87n214.83318>.

ZHENGHU, Duan; HONGLANG, Xiao. Effects of soil properties on ammonia volatilization.

Soil Science and Plant Nutrition, v. 46, n. 4, p. 845-852, 2000.

APÊNDICE A - DADOS SUPLEMENTARES

Tabelas de coleta de dados da pesquisa

Tabela - S1– Medições de amônia volátil e temperatura 09/06/22

Parâmetros Iniciais de Amônia Volátil (A. V.) e Temperatura (T) - junho de 2022									
Ponto 1 Data análise: 09/06/22 horário: 17 horas - galpão cortinas abertas									
	Prevista para Tratamento 1 maravalha			Prevista para Tratamento 2 maravalha			Prevista para Tratamento 3 maravalha		
	Área 1	Área 6	Área 8	Área 2	Área 4	Área 9	Área 3	Área 5	Área 7
A.V **	4,5	3,0	11,2	3,1	8,1	11,7	5,9	9,5	10,5
T. * (°C)	22,0	24,4	24,4	24,5	23,6	24,6	23,4	23,9	24,3
Ponto 2 Data análise: 09/06/22 horário: 17 horas- galpão cortinas abertas									
	Prevista para Tratamento 1 maravalha			Prevista para Tratamento 2 maravalha			Prevista para Tratamento 3 maravalha		
	Área 1	Área 6	Área 8	Área 2	Área 4	Área 9	Área 3	Área 5	Área 7
A.V **	5,8	7,3	11,5	5,3	7,3	13,8	7,0	7,9	11,9
T. * (°C)	24,5	24,4	24,6	23,8	23,8	24,7	23,4	23,0	24,3
Ponto 1 Data análise: 10/06/22 horário: 07 horas - galpão cortinas abertas									
	Prevista para Tratamento 1 maravalha			Prevista para Tratamento 2 maravalha			Prevista para Tratamento 3 maravalha		
	Área 1	Área 6	Área 8	Área 2	Área 4	Área 9	Área 3	Área 5	Área 7
A.V **	2,5	8,2	9,2	6,2	8,4	14,7	7,5	8,3	8,7
T. * (°C)	21,1	22,9	23,2	21,3	22,8	24,00	21,8	22,9	22,9
Ponto 2 Data análise: 10/06/22 horário: 07 horas - galpão cortinas abertas									
	Prevista para Tratamento 1 maravalha			Prevista para Tratamento 2 maravalha			Prevista para Tratamento 3 maravalha		
	Área 1	Área 6	Área 8	Área 2	Área 4	Área 9	Área 3	Área 5	Área 7
A.V **	6,1	5,1	3,1	8,5	11,0	15,3	6,2	7,7	9,4
T. * (°C)	21,1	22,9	23,7	21,7	22,3	24,5	22	22,9	22,9

Fonte: Do autor (2022).

* Temperatura superficial

** Concentração de amônia na altura do comedouro das galinhas (PPM).

Tabela S2 – Medições de amônia volátil e temperatura 20/06/22.

Parâmetros Iniciais de Amônia Volátil (A. V.) e Temperatura (T) - junho de 2022									
Ponto 1		Data análise: 20/06/22 horário: 7 horas - cortinas fechadas							
	Prevista para Tratamento 1 maravalha			Prevista para Tratamento 2 maravalha			Prevista para Tratamento 3 maravalha		
	Área 1	Área 6	Área 8	Área 2	Área 4	Área 9	Área 3	Área 5	Área 7
A.V **	10,3	20,8	15,1	13,7	18,1	12,1	21,9	19,3	13,1
T. *(°C)	19,0	16,2	16,5	18,1	16,2	16,7	17,8	16,8	16,5
Ponto 2		Data análise: 20/06/22horário: 7 horas - cortinas fechadas							
	Prevista para Tratamento 1 maravalha			Prevista para Tratamento 2 maravalha			Prevista para Tratamento 3 maravalha		
	Área 1	Área 6	Área 8	Área 2	Área 4	Área 9	Área 3	Área 5	Área 7
A.V **	13,7	17,3	16,2	16,1	20,6	15,6	21,5	19,4	19,5
T. *(°C)	18,02	16,7	16,6	17,8	16,8	16,7	17,5	16,8	16,5
Ponto 1		Data análise: 20/06/22 horário: 17 horas galpão cortinas abertas							
	Prevista para Tratamento 1 maravalha			Prevista para Tratamento 2 maravalha			Prevista para Tratamento 3 maravalha		
	Área 1	Área 6	Área 8	Área 2	Área 4	Área 9	Área 3	Área 5	Área 7
A.V **	1,5	5,4	9,5	3,6	4,9	11,2	4,4	4,9	10,3
T. *(°C)	21,9	23,9	22,5	22,5	25,2	25,5	23,6	24,0	25,3
Ponto 2		Data análise: 20/06/22 horário: 17 horas galpão cortinas abertas							
	Prevista para Tratamento 1 maravalha			Prevista para Tratamento 2 maravalha			Prevista para Tratamento 3 maravalha		
	Área 1	Área 6	Área 8	Área 2	Área 4	Área 9	Área 3	Área 5	Área 7
A.V **	2,7	4,6	8,4	7,1	5,0	10,8	4,1	6,3	9,5
T. *(°C)	22,3	24	26,5	23,1	25,2	20,3	23,9	24,8	25,4

Fonte: Do autor (2022).

* Temperatura superficial

** Concentração de amônia na altura do comedouro das galinhas (PPM)

Tabela S3 – Medições de amônia volátil e temperatura no local.

1° dia – data análise: 12/08/22 horário: 17:00 - CORTINAS FECHADAS									
	Tratamento 1 maravalha			Tratamento 2 maravalha +pó de SiO ₂ #200 (23%)			Tratamento 3 Maravalha+kamafugito# 200 (23%)		
MEDIÇÕES	Área 1	Área 6	Área 8	Área 2	Área 4	Área 9	Área 3	Área 5	Área 7
Amônia volátil	0	3,5	1,5	1,5	1,5	3,5	3,0	1,5	0,5
**									
Temperatura *	19,5	19,0	19,0	19,5	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
Data análise: 19/08/22 horário: 17:00									
MEDIÇÕES	Área 1	Área 6	Área 8	Área 2	Área 4	Área 9	Área 3	Área 5	Área 7
Amônia volátil	7,50	7,0	8,00	4,50	6,50	8,00	4,0	6,50	6,00
**									
Temperatura *	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
Data análise: 30/08/22 horário: 17:00									
MEDIÇÕES	Área 1	Área 6	Área 8	Área 2	Área 4	Área 9	Área 3	Área 5	Área 7
Amônia volátil	5,0	6,50	7,5	3,5	8,0	6,5	4,0	7,5	7,5
**									
Temperatura *	19,0	18,0	18,0	18,5	18,0	18,0	18,5	18,0	18,0
Data análise: 06/09/22 horário: 17:00									
	Tratamento 1 Maravalha			Tratamento 2 Maravalha +pó de SiO ₂ #200 (23%)			Tratamento 3 Maravalha +kamafugito #200 (23%)		
MEDIÇÕES	Área 1	Área 6	Área 8	Área 2	Área 4	Área 9	Área 3	Área 5	Área 7
Amônia volátil	10,5	11,5	10,5	9,5	8,0	7,5	9,0	14,0	11,0
**									
Temperatura	17,5	17,5	17,5	1,5	17,0	17,5	17,5	17,0	17,0
Data análise: 13/09/22 horário: 17:00									
MEDIÇÕES	Área 1	Área 6	Área 8	Área 2	Área 4	Área 9	Área 3	Área 5	Área 7
Amônia volátil	7,5	13,0	17,5	1,0	12,0	12,0	12,0	14,5	14,0
**									
Temperatura *	21,5	21,0	21,0	21,5	21,5	21,0	21,5	21,5	2,0

Fonte: Do autor (2022).

* temperatura superficial

** Concentração de amônia na altura do comedouro das galinhas (PPM)

Tabela S4 - Planilha para coleta de dados pH e umidade.

1° Semana – data análise: 27/08/22									
	Tratamento 1 Maravalha			Tratamento 2 Maravalha + pó de SiO ₂ #200 (23%)			Tratamento 3 Maravalha +kamafugito #200 (23%)		
MEDIÇÕES	Área 1	Área 6	Área 8	Área 2	Área 4	Área 9	Área 3	Área 5	Área 7
pH	8,0	7,5	8,0	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	8,0
Umidade ***	2,0	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5	2,5	2,0	2,5
2° Semana – data análise: 10/09/22									
	Tratamento 1 Maravalha			Tratamento 2 Maravalha + pó de SiO ₂ #200 (23%)			Tratamento 3 Maravalha +kamafugito #200 (23%)		
MEDIÇÕES	Área 1	Área 6	Área 8	Área 2	Área 4	Área 9	Área 3	Área 5	Área 7
pH	7,5	8,0	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,0
Umidade ***	1,5	2,0	1,5	2,0	2,0	1,0	1,5	2,5	1,0
3° Semana – data análise: 20/09/22									
	Tratamento 1 Maravalha			Tratamento 2 Maravalha + pó de SiO ₂ #200 (23%)			Tratamento 3 Maravalha +kamafugito #200 (23%)		
MEDIÇÕES	Área 1	Área 6	Área 8	Área 2	Área 4	Área 9	Área 3	Área 5	Área 7
pH	7,0	7,0	7,0	6,5	6,0	7,0	7,0	6,5	7,0
Umidade ***	2,0	4,0	3,0	1,5	2,0	2,0	2,0	4,03,0	
4° Semana – data análise: 28/09/22									
	Tratamento 1 Maravalha			Tratamento 2 Maravalha + pó de SiO ₂ #200 (23%)			Tratamento 3 Maravalha +kamafugito #200(23%)		
MEDIÇÕES	Área 1	Área 6	Área 8	Área 2	Área 4	Área 9	Área 3	Área 5	Área 7
pH	7,5	8	7,5	8,0	8,0	7,5	7,5	8	8
Umidade ***	2,5	6,5	3,0	4,0	3,0	1,8	3,0	7,0	4,0
5° Semana – data análise: 05/10/22									
	Tratamento 1 Maravalha			Tratamento 2 Maravalha + pó de SiO ₂ #200 (23%)			Tratamento 3 Maravalha +kamafugito #200 (23%)		
MEDIÇÕES	Área 1	Área 6	Área 8	Área 2	Área 4	Área 9	Área 3	Área 5	Área 7
pH	7,5	8,0	8,0	8,0	7,5	8,0	8,0	8,0	8,0
Umidade ***	2,0	4,0	2,5	3,0	3,0	1,7	2,5	4,0	2,5

Fonte: Do autor (2022).

*** Umidade longe dos bebedouros.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro das agências CAPES, CNPq e FAPEMIG.

ARTIGO 2 - AVALIAÇÃO DA COMPOSTAGEM DE CAMA AVIÁRIA EM FASE DE POSTURA ENRIQUECIDA COM KAMAFUGITO E REJEITOS DE QUARTZITO

Artigo formatado de acordo com a NBR 6022 (ABNT, 2018).

RESUMO

Este estudo teve como finalidade avaliar a concentração de nutrientes de fertilizantes derivados da compostagem conjunta de cama de aviário de fase de postura com pó de quartzito e do remineralizador kamafugito. Na granja experimental localizada em Três Corações, Minas Gerais, quatro tratamentos distintos foram aplicados à cama de aviário com maravalha: T1 (controle) sem aditivos; T2 com adição de pó de quartzito (23%); T3 incorporado com kamafugito (23%); e T4 combinando kamafugito e quartzito (33% cada), este último adicionado após a fase de postura das aves. Cada tratamento foi replicado três vezes e, após a saída das galinhas, as camas foram submetidas à compostagem durante 110 dias. Ao término do processo, observou-se um aumento significativo dos teores de nitrogênio (N), com T1, T2, T3 e T4 registrando, respectivamente, acréscimos de 56%, 77%, 217% e 24%. Destacou-se o T3, que apresentou o maior aumento de N, alcançando 6,28% - um incremento de 308% em relação ao TC (1,54%). Os resultados indicam que todos os quatro tratamentos são viáveis para uso agrícola, cumprindo os requisitos mínimos de nutrição estabelecidos para fertilizantes orgânicos. Desta forma, percebe-se um potencial promissor para a adoção de práticas sustentáveis no manejo de resíduos avícolas e na produção de fertilizantes orgânicos mais enriquecidos, em alinhamento com as normativas nacionais vigentes.

Palavras-chave: de galinha; fertilizante; coproduto; subproduto; fontes regionais; agrominerais.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the nutrient concentration of fertilizers derived from the joint composting of laying phase poultry litter with quartzite powder and kamafugitoreminalizer. At the experimental farm located in TrêsCorações, Minas Gerais, four distinct treatments were applied to the poultry litter with sawdust: T0; T1 (control) without additives; T2 addition of quartzite powder (30%); T3 addition of kamafugite (30%); and T4 kamafugito and quartzite combination (30% each), the latter added after the laying phase of the birds. Each treatment was replicated three times, and after the chickens were removed, the litter was subjected to composting for 110 days. A significant increase in nitrogen (N) levels was observed, with T1, T2, T3, and T4 recording increases of 56%, 77%, 217%, and 24%, respectively. T3 stood out, showing the highest increase in N, reaching 6.28%, an increase of 308% compared to T0 (1.54%). The results indicate that all four treatments are viable for agricultural use, meeting the minimum nutrition requirements established for organic fertilizers. The research suggests a promising potential for the adoption of sustainable practices in poultry waste management and in the production of organic fertilizers enriched with regional mineral sources.

Keywords: chicken manure; composting; fertilizer;co-product; agrominerals.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de fontes regionais de nutrientes como insumos para a agricultura pode reduzir a dependência de fertilizantes baseados em recursos finitos (Beerling *et al.*, 2018; Swoboda; Döring; Hamer, 2022). Isso contribui para a segurança alimentar global, uma necessidade crescente com o aumento da população mundial (Beerling *et al.*, 2018).

Entre as fontes regionais de nutrientes, destacam-se as fontes orgânicas de esterco de confinamento e os insumos minerais regionais (Shaji; Chandran; Mathew, 2021). Nesse sentido, estudos sobre o enriquecimento de compostos orgânicos com mineral vêm sendo desenvolvidos, uma vez que o manejo adotado no processo de compostagem de resíduos e a natureza dos materiais orgânicos empregados permitem variações na qualidade dos fertilizantes. Essas variações têm o potencial de alterar e até mesmo melhorar a qualidade agrônômica do material para fins de fertilização do solo (Höfig *et al.*, 2022; Lima *et al.*, 2009).

O composto orgânico de esterco de galinha, após o processo de compostagem, fica livre de organismos patogênicos e pode ser utilizado em culturas de produtos orgânicos. A Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, apresenta a compostagem de resíduos sólidos orgânicos como uma possibilidade de tratamento desses resíduos (Brasil, 2010).

Com o objetivo de tornar os adubos orgânicos mais rentáveis para comercialização, alguns produtos químicos e aditivos têm sido utilizados na cama de aviário para minimizar a perda de nitrogênio (N_2) por fermentação (Lucca *et al.*, 2012). Ao adicionar pó de rocha basáltica, que contém SiO_2 , CaO , MgO e K_2O , na cama de frango, os teores de N nos tratamentos mantiveram-se dentro dos níveis exigidos pela Instrução Normativa do MAPA 25/2009 (Curtis; Luchese; Missio, 2023).

Ao avaliar o efeito do enriquecimento com diferentes minerais na compostagem de resíduos contendo bagaço de cana, esterco de galinha poedeira, torta de filtro e farelo de mamona, observou-se que o composto orgânico enriquecido com fertilizante NPK atendeu à legislação brasileira (Instrução Normativa nº 23 de 2005) em relação à concentração de nitrogênio (Lima *et al.*, 2009). Nesse sentido, a adição de fontes de fósforo (P) pode minimizar a perda de N_2 e formar compostos estáveis de N (Kentron; Gomes, 2014).

Neste contexto, fontes alternativas de fertilizantes contendo potássio, fósforo e outros nutrientes importantes para a agricultura, que não são produzidos no Brasil, vêm sendo pesquisadas (Motta Junior *et al.*, 2021). Entre essas fontes alternativas, as rochas Kamafugíticas, que possuem nutrientes como Ca, Mg, K e P em sua composição, apresentam

liberação lenta nos solos, podendo aumentar sua fertilidade ao longo do tempo (Ferreira *et al.*, 2020; Motta Junior *et al.*, 2021).

Os kamafugitos moídos, além de fornecer nutrientes, contribuem para a correção do solo e podem ser utilizados como remineralizadores de solo (Straaten, 2022). Outra fonte alternativa em destaque são as rochas silicáticas (quartzito), que podem ser usadas como complementares aos fosfatos, calcários e fontes de potássio solúveis, reabastecendo os solos com oligoelementos importantes para as culturas agrícolas (Souza *et al.*, 2017). Determinadas rochas silicáticas atendem aos critérios da Instrução Normativa 05/2016 do Ministério da Agricultura e Pecuária, sendo consideradas remineralizadores de solos (Brasil, 2016).

Na região sul de Minas Gerais, o beneficiamento de “Pedras São Tomé” ou quartzito gera grande quantidade de rejeitos. Esses resíduos são materiais inertes de rochas metamórficas silicáticas, com elevados teores de sílica (SiO_2), entre 95% e 98%, formando montanhas de materiais acumulados ao longo dos anos na cidade de São Tomé das Letras, em Minas Gerais (FEAM, 2009).

A utilização de resíduos de outras atividades pode agregar valor à cama de aviário quando usada como fertilizante após passar por processo de compostagem, melhorando a qualidade dos compostos orgânicos e, ao mesmo tempo, reduzindo os impactos ambientais da agricultura convencional. Isso proporciona um destino adequado aos resíduos produzidos nas áreas de mineração (Ramos *et al.*, 2017; Valentim *et al.*, 2020).

Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os compostos orgânicos obtidos com a utilização de dois materiais de regiões distintas de Minas Gerais, o remineralizador kamafugito e o rejeito de quartzito. Esses materiais foram adicionados na cama de aves de maravalha antes do processo de compostagem, na fase de montagem da cama de aviário para a postura das galinhas. Os compostos orgânicos formados foram comparados em relação à caracterização físico-química (pH, matéria orgânica, umidade, macro e microelementos) antes e após o processo de compostagem e entre os diferentes tratamentos. Também foi verificado o enquadramento desses compostos na legislação vigente de fertilizantes. Buscou-se adicionar os aditivos junto com a maravalha no início da fase de posturas, uma vez que na incorporação das fezes a maravalha inicia-se a perda de amônia, o que pode comprometer a qualidade do material como fertilizante em termos de composição de nitrogênio.

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Local do experimento e as espécies de poedeiras utilizadas

O experimento foi montado em 11/08/22 em uma granja localizada na cidade de Três Corações-MG, município situado a 829 metros de altitude no Brasil, com as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 21° 42' 29" Sul, Longitude: 45° 16' 10" Oeste. O clima regional é Tropical de Altitude (Cwa) e a Altitude é de 839 m. O galpão de posturas apresentado na Figura 1 possui como medidas 21 metros de comprimento por 6 metros de largura, pé direito de 3 metros, coberto com telhas de fibrocimento e possui ventilação natural.

Figura 1 - Imagem do galpão de posturas.



Fonte: Do autor (2023).

As 900 poedeiras alojadas no galpão durante o experimento pertenciam às raças Embrapa 51 e Azur, como mostrado na Figura 2 e tinham 189 dias de idade no início da pesquisa. O estudo foi conduzido de acordo com as diretrizes ARRIVE (Animal Research: Reporting of In Vivo Experiments), conforme a Lei de Animais (Procedimentos Científicos) do Reino Unido de 1986 e suas diretrizes associadas, além da Diretiva 2010/63/UE para experimentação com animais (Européia Commission, 2014).

Figura 2 - Galpão interno com as galinhas poedeiras.



Fonte: Do autor (2023).

2.2 Montagem e composição da cama de aviário no experimento

A preparação da cama de aviário envolveu a mistura de quartzito e kamafugito com a maravalha. Após a homogeneização, essa mistura foi disposta no piso do galpão nas áreas de tratamento. Foram montados três tratamentos, cada um com três repetições, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição da cama no aviário por área antes da fase de postura

Montagem da cama	Composição de montagem da cama no aviário
Áreas do galpão: 1, 6, 8	Maravalha: 100 kg
Áreas do galpão: 2, 4, 9	Maravalha: 85 kg Pó de quartzito # 200 (23 % - 25,5 kg)
Áreas do galpão: 3, 5, 7	Maravalha: 85 kg Kamafugito # 200 - (23% - 25,5 kg)

Fonte: Do autor (2023).

A divisão das áreas de montagem do experimento foi realizada conforme o esquema proposto na Figura 3, com linhas físicas demarcadas no interior do galpão para uma melhor delimitação.

Figura 3 - Divisão do galpão para tratamentos da cama de aviário.

7 m	7 m	7 m	
Área 1 (tratamento 1)	Área 2 (tratamento 2)	Área 3 (tratamento 3)	2 m
Área 4 (tratamento 2)	Área 5 (tratamento 3)	Área 6 (tratamento 1)	2 m
Área 7 (tratamento 3)	Área 8 (tratamento 1)	Área 9 (tratamento 2)	2 m

Fonte: Do autor (2023).

2.3 Experimento de compostagem da cama de aviário

O experimento teve duas etapas. Na primeira, a cama de aviário foi preparada antes da entrada das galinhas no galpão de posturas, utilizando os aditivos pó de quartzito e kamafugito misturados na maravalha. E a segunda etapa, ocorreu após a retirada das galinhas do galpão, ao término da fase de postura. Para fins de comparação, também foi utilizada maravalha pura como amostra controle.

Após a retirada das galinhas do galpão, ao término da fase de postura, que duraram quatro meses neste experimento, teve início à segunda etapa. Os resíduos da cama de aviário foram tratados por meio de compostagem. As pilhas de compostagem foram montadas utilizando o material da cama de aviário conforme descrito na Tabela 2, que apresenta a composição das pilhas de compostagem.

Tabela 2 - Composição dos tratamentos na preparação das pilhas para compostagem.

Pilhas de Compostagem	Montagem da cama 1º Etapa	Cama de frango + excrementos 2º Etapa
Tratamento 1	100 kg de maravalha	415 kg
Tratamento 2	315 kg de Excrementos 85 kg de Maravalha 25,5 kg de Pó de quartzito 304,5 kg de Excrementos	415 kg
Tratamento 3	85 kg de Maravalha 25,5 kg de Kamafugito 304,5 kg de Excrementos	415 kg
Tratamento 4	80 kg de Excrementos com maravalha *80 kg de Pó de quartzito *80 kg de Kamafugito	240 kg

* adicionados após a fase de postura

Fonte: Do autor (2023).

Os materiais para a compostagem, além da maravalha e dos aditivos, incluíam os resíduos e excrementos que foram incorporados na cama do aviário durante o período em que as galinhas estiveram no galpão, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Montagem das pilhas de compostagem e retirada de amostra controle.



Fonte: Do autor (2023).

O período experimental do processo de compostagem da cama de aviário ocorreu de 10 de dezembro de 2022 a 29 de março de 2023, totalizando 110 dias.

As pilhas foram dispostas em montes cônicos com 1,2 metros de diâmetro e 1,20 metros de altura. No início do processo, cada monte foi pesado, totalizando 415 kg de material.

Dentre todos os tratamentos, o T4 seguiu um processo diferente. Utilizou-se a cama de maravalha e os resíduos de excrementos das áreas do galpão 1, 6, e 8, além dos aditivos pó de quartzito #200 e kamafugito #200, na proporção 1:1:1. Os aditivos foram adicionados após a fase de postura com a retirada das galinhas do galpão para iniciar o processo de compostagem.

2.4 Controles do processo de compostagem

Para garantir a adequada umidade, ajustes foram feitos semanalmente durante o primeiro mês, por meio da adição controlada de água. Após o período inicial, as pilhas foram regadas a cada 15 dias, mantendo a umidade entre 40% e 65%. Esse intervalo evita a perda de nitrogênio por volatilização de amônia e mantém as condições ideais para a degradação microbiológica (Fioreza; Serantoni; Azevedo, 2020).

Para promover a aeração e a homogeneização do composto orgânico, as pilhas foram reviradas manualmente com garfos e pás duas vezes por semana durante o início do processo. Após o primeiro mês, o revolvimento das pilhas ocorreu uma vez por semana até o início da fase de maturação do composto, que se deu nos últimos 30 dias do experimento. Esse padrão de revolvimento foi mantido até o final do processo de compostagem. A fase de maturação é caracterizada pela manutenção da temperatura média das pilhas abaixo de 40°C (Fioreza; Serantoni; Azevedo, 2020).

2.5 Controle da Temperatura da compostagem

Durante o processo de compostagem, foi crucial manter o controle da temperatura para garantir que a fase termofílica ocorresse de forma adequada, promovendo as transformações necessárias da matéria orgânica para formação de um composto estabilizado quimicamente e a inativação de microrganismos indesejáveis (Fioreza; Serantoni; Azevedo, 2020; Soares *et al.*, 2017).

Para monitorar as pilhas de compostagem, foram estabelecidos três pontos de medição em cada monte: no topo, no meio e na base da pilha. Para isso, utilizou-se um termômetro digital

da marca Akso, do tipo espeto, com haste de penetração em aço inoxidável, com 148mm de comprimento e faixa de medição de 50 a 300°C.

Durante os primeiros dois meses, a temperatura foi medida três vezes por semana. Após esse período, a medição da temperatura foi reduzida para uma vez por semana. O monitoramento constante permitiu um acompanhamento preciso do processo de compostagem e garantiu que as condições ideais fossem mantidas ao longo do tempo.

2.6 Composição química, mineralógica, área superficial específica média e capacidade de troca de cátions do kamafugito e quartzito

O kamafugito foi caracterizado por análises químicas, apresentando as seguintes concentrações: SiO₂ de 34,8%, Fe₂O₃ de 21,6%, Al₂O₃ de 8,5%, TiO₂ de 8,3%, CaO de 6,0%, MgO de 6,3%, Na₂O de 0,15% e K₂O de 3,8%. Além disso, pela análise mineralógica, foram identificados os seguintes minerais no kamafugito: quartzo, ferrita de magnésio, fosfato de ferro, hematita, nontronita, ferrato de potássio, augita e fosfito de hidrogênio. A área superficial específica média é de 30,54 m²/g e a capacidade de troca de cátions (CTC) é de 10,0 meq/100g. Segundo os laudos de análises físico-químicas do pó de quartzito, o teor de sílica (SiO₂) varia entre 98,6% e 98,9%, enquanto o de Al₂O₃ é de 0,41%. O quartzo compõe 99% do material, resultando em teores muito baixos para outros elementos. A área superficial específica média é de 0,68 m²/g e a CTC é de 0,5 meq/100g.

2.7 Avaliações da qualidade dos compostos orgânicos

Os compostos obtidos a partir da compostagem dos tratamentos (T1) maravalha, (T2) Maravalha + Pó de quartzito, (T3) Maravalha + kamafugito e (T4) Cama com maravalha + Pó de quartzito + kamafugito, foram submetidos a análises de pH, matéria orgânica, umidade, macro e microelementos em duas épocas: um mês após a montagem das pilhas de compostagem em 12/01/23 e quando o composto já estava estabilizado em 29/03/23.

Como amostra de compostagem padrão (CP), um composto orgânico da granja foi analisado em 10/03/22. O processo de compostagem do composto CP ocorreu sem controle das condições de temperatura, umidade e aeração, e sem adição de outros produtos na cama de aviário, utilizando apenas maravalha.

Todas as análises foram realizadas em triplicata nos laboratórios SEMEAR/UNINCOR de Três Corações/MG e Fundação PROCAFE de Varginha/MG, sendo que alguns parâmetros do composto maturado foram analisados no laboratório BASLAB de Guaxupé/MG.

Os métodos analíticos utilizados na pesquisa estão detalhados na Tabela 3, a qual foi elaborada com base no Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos, indexado ao International Standard Book Number (ISBN)²².

Tabela 3 - Métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos.

Parâmetros	Unidade	Preparo das amostras por quarteação
Macronutrientes		
		Extratores / Método
Nitrogênio - N	%	Sulfúrica /Espectrometria
Fósforo - P	%	Nitroperclórica/ Espectrometria
Potássio - K	%	Nitroperclórica/ Fotometria de chama
Calcio - Ca	%	Nitroperclórica/ Espectrometria
Magnésio - Mg	%	Nitroperclórica/Espectrometria
Enxofre -S	%	Espectrometria
Parâmetros	Unidade	Preparo das amostras por quarteação
Micronutrientes		
		Extratores / Método
Boro -B	mg/kg	Nitroperclórica/ Espectrometria
Cobre - Cu	mg/kg	Nitroperclórica/Espectrometria
Manganês - Mn	mg/kg	Nitroperclórica/Espectrometria
Zinco - Zn	mg/kg	Nitroperclórica/Espectrometria
Ferro - Fe	mg/kg	Nitroperclórica/Espectrometria
Outros parâmetros		
Umidade (H ₂ O)	%	Determinação da umidade a 65°C (U65)
M. O. Materia Orgânica	%	Mét. Volum. Dodicromato de potássio- Manual profert 1-1
pH	Uph	pH em H ₂ O - Manual profert 1-1
Análises no composto maturado		
Silicio (base seca)	%	MAPA Cap. I. C.22
Sílicio (IN Natura)	%	MAPA Cap. III. D. 1
Ácido Fúlvico	%	MAPA Cap. III. E.14
Ácido Húmico	%	MAPA Cap. III. E.14
Ácido Húmico Total	%	MAPA Cap. III. E.14
Úmidade 65°	%	MAPA Cap. III. D. 1
Úmidade Total	%	INSDA 37 Cap. 2
C.T.C (Cap. de Troca Catiônica)	mmol/kg	MAPA Cap. III. E. 15

*Referências para elaboração da tabela (PROFERT, 2005; BRASIL, 2017)

Fonte: Do autor (2023).

Na Tabela 4, estão apresentados os parâmetros e especificações conforme a legislação vigente para fertilizantes orgânicos e biofertilizantes destinados à agricultura, seguindo as diretrizes da Instrução Normativa (IN) n° 6123, de 08 de julho de 2020. Com base nos resultados das análises dos compostos finais (CF) obtidos nos tratamentos T1, T2, T3 e T4, foi verificado o seu cumprimento em relação à legislação.

Tabela 4 - Teores mínimos de nutrientes e outras garantias para fertilizantes orgânicos simples sólidos (IN) nº 61 (MAPA SDA)

	Fertilizante Orgânico Simples processado Estercos e camas	Fertilizante Orgânico Misto Orgânico Composto Sólido
Umidade (% máx.)	40	50
pH	Conforme declarado	Conforme declarado
Carbono Orgânico (% mín.)	20	15
Nitrogênio Total (% mín.)	1	0,5
CTC (% mín.)	Conforme declarado	Conforme declarado
CTC/C (% mín.)	Conforme declarado	Conforme declarado
Relação C/N (máx.)	-	20
Outros Nutrientes	-	Conforme declarado

Fonte: Do autor (2023).

3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, seguindo um esquema fatorial duplo, com quatro tratamentos distintos: (T1) Maravalha, (T2) Maravalha + Pó de quartzito, (T3) Maravalha + Kamafugito, e (T4) Cama com maravalha + Pó de quartzito + Kamafugito. Foram avaliadas duas épocas: uma no momento da montagem das pilhas de compostagem em 12 de janeiro de 2023, e outra quando o composto já estava estabilizado em 29 de março de 2023.

As épocas foram consideradas como um fator qualitativo, e foi realizado um teste para compará-las. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste Tukey a um nível de significância de 5%. Todas as análises foram realizadas utilizando o *software* R24.

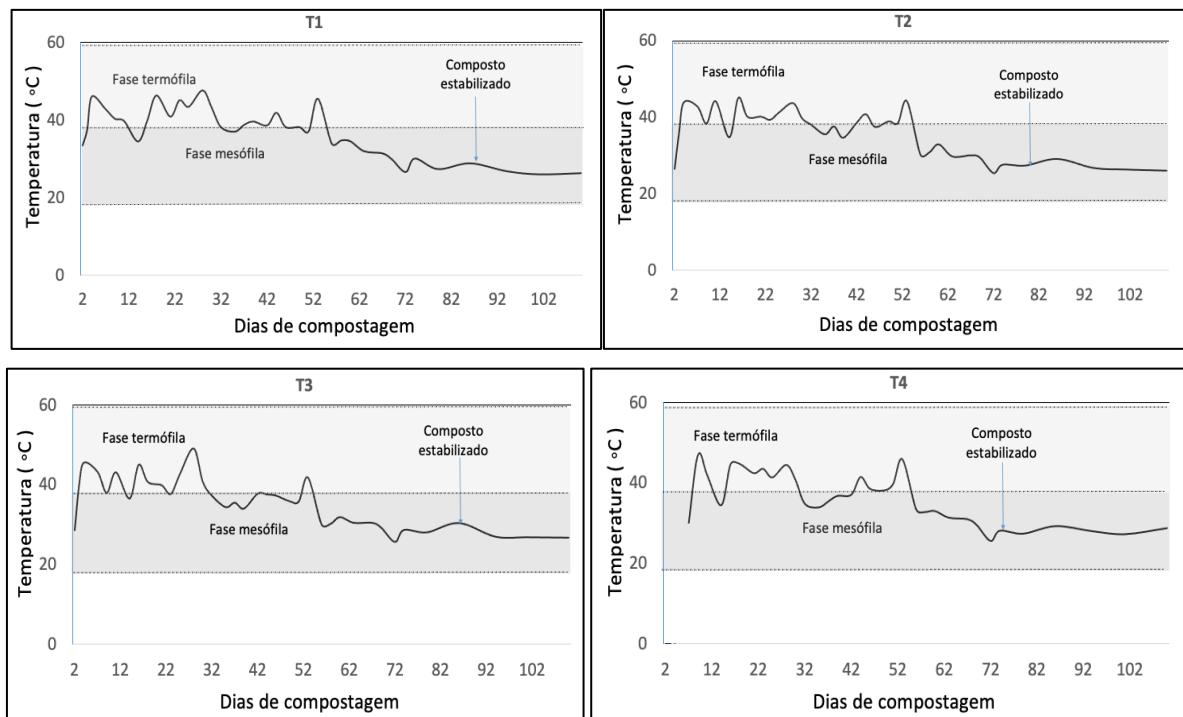
Na análise dos resultados físico-químicos para os tratamentos TC, T1, T2, T3 e T4, foram descritas as estatísticas das medidas obtidas em cada tratamento. Essas medidas foram comparadas em termos percentuais, seguindo a abordagem de Kentron Lima e Gomes (2014). A comparação foi realizada entre o composto no início da compostagem (12/01/2023) e o composto final (CF) da compostagem (29/03/2023), além de ser comparado o CF de cada tratamento com a amostra controle (AC) da granja. Foi empregado um modelo fatorial duplo, onde o 1º fator representa os tratamentos e o 2º fator às épocas. A análise de variância do fatorial foi conduzida para testar a significância dos efeitos dos tratamentos, das épocas e de sua interação, de forma independente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo da temperatura

A evolução da temperatura durante o processo de compostagem está ilustrada na Figura 5. Os resultados apresentam o comportamento da temperatura ao longo dos dias de compostagem no experimento, com os valores médios registrados em três pontos de cada monte (topo, meio e base), bem como a média das três repetições por tratamento ao longo do período do experimento. Observa-se que, com o controle adequado do processo de compostagem, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos em relação à temperatura.

Figura 5 - Comportamento da temperatura ao longo do tempo de compostagem. T1 (controle) sem aditivos; T2 com adição de pó de quartzito (23%); T3 com adição de kamafugito (23%); e T4 combinando kamafugito e quartzito (33% cada).



Fonte: Do autor (2023).

Na primeira semana do experimento, todas as amostras submetidas à compostagem apresentaram um aumento significativo da temperatura, com valores ultrapassando os 40°C. Esse fenômeno é atribuído à atividade microbiana, que promove uma intensa decomposição inicial do material, elevando a temperatura durante esta fase inicial do processo (Brasil, 2020).

As temperaturas máximas registradas nos tratamentos ocorreram principalmente nos primeiros trinta dias do experimento. Embora o gráfico represente apenas as médias de

temperatura, é importante destacar que todos os tratamentos apresentaram picos de temperatura acima de 40°C ao longo do processo. Essa fase termofílica é fundamental, pois é responsável por uma decomposição intensa do material (Brasil, 2020).

A diminuição gradual da temperatura ao longo dos dias de compostagem em todos os tratamentos pode ser atribuída à fase mesófila, caracterizada por temperaturas abaixo de 40°C (Brasil, 2020).

A fase de maturação, indicada pela redução da atividade microbiana (Brasil, 2020), ocorreu em todos os tratamentos nas últimas semanas do processo de compostagem. Após o 56º dia, as temperaturas estabilizaram-se abaixo de 35°C em todos os tratamentos, aproximando-se das condições ambientais locais durante o verão.

É importante ressaltar que o experimento foi realizado em uma região de clima tropical de altitude (Cwa) (IBGE, 2018), onde as condições climáticas podem influenciar o processo de compostagem. No entanto, o controle adequado do processo garantiu que as temperaturas se mantivessem dentro dos parâmetros esperados ao longo do experimento.

4.2 Estudo dos tratamentos com avaliação da qualidade dos compostos orgânicos

A determinação da composição química da cama de frango é crucial para sua aplicação como fertilizante, dada a variabilidade significativa na quantidade de nutrientes presentes nesse resíduo (Rogerí *et al.*, 2016). Os resultados dos testes estatísticos para os parâmetros que apresentaram interação significativa entre os tratamentos e as duas épocas de avaliação são apresentados na Tabela 5, incluindo os dados das análises de Nitrogênio, Cálcio e a relação de C/N dos tratamentos e épocas, comparados por variáveis.

Na coluna (letras maiúsculas), os quatro tratamentos foram testados por análise de variância do fatorial, enquanto na linha (letras minúsculas), as épocas foram analisadas por variável. Utilizou-se o teste de comparação de médias (Tukey) para verificar se as variáveis são estatisticamente iguais ou diferentes entre si.

Tabela 5 - Resultados das análises de N, Ca e C/N dos tratamentos e épocas comparados por variáveis.

Tratamento	N (%)		Ca (%)		C/N (%)	
	Época					
	12/01/23	29/03/23	12/01/23	29/03/23	12/01/23	29/03/23
T1	2,06 Aa	3,22 Ba	5,49 Ab	11,21 Ba	14,20 Aa	7,73 ABb
T2	2,02 Aa	3,57 Ba	5,64 Ab	11,75 Ba	13,60 Aa	6,50 ABb
T3	1,98 Ab	6,28 Aa	5,61 Ab	11,37 Ba	13,87 Aa	4,23Bb
T4	1,96 Aa	2,43 Ba	5,60 Ab	12,57 Aa	12,50 Aa	10,37 Aa
CV (%)	33,28		3,91		19,66	

T1 (controle) sem aditivos; T2 com adição de pó de quartzito (30%); T3 com adição de kamafugito (30%); e T4 combinando kamafugito e quartzito (30% cada).

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna, não deferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância, médias seguidas de letras iguais, minúsculas na linha, por variável, não diferem pelo Teste F a 5% de significância. CV = Coeficiente de variação.

Fonte: Do autor (2023).

Para as variáveis N, Ca e C/N, observaram-se um efeito significativo, com interação entre os tratamentos e as épocas de avaliação. No tratamento T3 (adição de 30% de kamafugito), foram observadas diferenças significativas nas três variáveis (N, Ca e C/N) ao longo das épocas de avaliação. Houve um aumento significativo no teor de N em relação aos demais tratamentos, enquanto para o Ca, diferenças significativas foram observadas em todos os tratamentos nas duas épocas de avaliação.

Em relação à razão C/N, observou-se uma redução significativa nos tratamentos T1, T2 e T3 ao longo das épocas de avaliação. Os tratamentos T3 (30% kamafugito) e T2 (30% pó de quartzito) apresentaram as maiores reduções, superando 50% no composto final, o que sugere uma estabilização eficaz da matéria orgânica (Keiji *et al.*, 2012).

A relação C/N é um parâmetro fundamental para avaliar a maturação dos compostos orgânicos, sendo que um valor de C/N = 12 é um indicador de composto maturado (Dutra; Menezes; Primo, 2013). Relações C/N abaixo de 12 indicam um alto grau de maturidade do composto (Lima *et al.*, 2009). Notavelmente, o valor de C/N nos compostos finais de todos os tratamentos foi abaixo de 10,4 indicando a maturidade dos compostos em todos os tratamentos.

A redução da relação C/N em todos os tratamentos (composto final) sugere uma possível redução na emissão de amônia. Aumentos na relação C/N durante o processo de compostagem são frequentemente associados a uma maior emissão de amônia (Tiquia; Tam, 2000).

A Tabela 6 apresenta as médias das repetições das análises físico-químicas de todos os tratamentos nas duas épocas de avaliação. As análises foram conduzidas tanto na primeira semana de compostagem (12/01/2023) quanto no final do processo de compostagem (29/03/23) para permitir comparações entre os tratamentos. Alguns parâmetros foram avaliados apenas no composto final estabilizado, visando avaliar a maturação do composto ao longo do processo de compostagem.

Tabela 6 - Resultados das análises físico-químicas nos tratamentos. (Continua)

Parâmetros	Análise Físico-Química dos Tratamentos									
	Resultados / Médias									
Data	Macronutrientes (dag/kg %)									
	T0	T1		T2		T3		T4		
	10/03/22	12/01/23	29/03/23	12/01/23	29/03/23	12/01/23	29/03/23	12/01/23	29/03/23	
Nitrogênio - N	1,54	2,06	3,22	2,02	3,57	1,98	6,28	1,96	2,43	
Fósforo - P	0,38	0,55	0,44	0,56	0,64	0,56	0,63	0,55	0,64	
Potássio - K	1,6	2,20	3,02	2,26	3,11	2,29	2,95	2,33	2,72	
Calcio - Ca	5,36	5,49	11,21	5,64	11,75	5,61	11,37	5,60	12,57	
Magnésio - Mg	0,51	0,51	0,64	0,51	0,65	0,53	0,63	0,54	0,64	
Enxofre -S	0,31	0,35	0,53	0,15	0,53	0,26	0,49	0,20	0,29	
Micronutrientes mg/kg										
Boro -B	28,94	49,7	40,7	33,6	52,03	43,66	46,2	40,23	64,2	
Cobre - Cu	35	40,33	53,66	25,80	54,66	44	42,53	43,2	64,2	
Manganês - Mn	267,6	348,66	474,66	334	475	372	490	371	466,66	
Zinco - Zn	212,5	218,33	253	233,6	261,3	223	253	218,33	239,66	
Ferro - Fe	5.100,6	3.217,3	1.873	2.700	1.859	3.051	1.978	3.081	2.102,66	
Parâmetros (dag/kg %)										
Umidade (H ₂ O) (%)	-	20,38	14,11	24,66	15,82	21,88	13,61	25,11	15,10	
M. O. (%)	14,22	50,5	42,96	45,46	39,3	46,7	39,13	43,56	40,83	
pH	8,00	7,5	7,6	7,5	8,0	7,5	7,7	7,5	8,0	
Cinza (%)	-	49,5	57,03	54,23	60,7	53,1	60,86	56,9	59,16	
CO (%)	-	29,33	24,96	26,56	22,83	27,03	22,73	24,93	23,73	
C/N (%)	9,23	14,20	7,73	13,6	6,5	13,86	4,23	12,5	10,36	

Tabela 6 - Resultados das análises físico-químicas nos tratamentos. (Conclusão)

Parâmetros	Análise Físico-Química dos Tratamentos										
	Resultados / Médias										
	Macronutrientes (dag/kg %)										
	T0	T1	T2	T3	T4	T0	T1	T2	T3	T4	
Data	10/03/22	12/01/23	29/03/23	12/01/23	29/03/23	12/01/23	29/03/23	12/01/23	29/03/23	12/01/23	29/03/23
	Análise de fertilizante orgânico final										
Ácido Fúlvico (%)	-	-	3,58	-	3,35	-	2,76	-	2,35	-	2,35
Ácido Húmico (%)	-	-	3,98	-	3,15	-	2,76	-	2,35	-	2,35
Extrato Húmico Total (%)	-	-	7,56	-	6,5	-	5,51	-	4,70	-	4,70
C.T.C. (mmol/Kg)	-	-	265,7	-	330,8	-	124	-	176,8	-	176,8
Silício (base seca) (%)	-	-	6,89	-	5,81	-	5,84	-	6,54	-	6,54

T0 maravalha; T1 (controle) sem aditivos; T2 com adição de pó de quartzito (30%); T3 com adição de kamafugito (30%); e T4 combinando kamafugito e quartzito (30% cada).

Fonte: Do autor (2023).

4.2.1 Nitrogênio

Na comparação entre os tratamentos e as épocas de avaliação, observou-se um aumento no teor de N em todos os tratamentos. Os dados da Tabela 6 indicam que a elevação do teor de N do início do processo de compostagem até o composto estabilizado foi de 56% para o T1, 77% para o T2, 217% para o T3 e 24% para o T4. Notavelmente, o composto T3 apresentou a maior diferença no teor de N, seguido pelo T2 e T1.

Ao analisar o teor de N do composto controle T0 em relação ao T3, verificou-se um aumento de 308%, enquanto nos demais tratamentos foram de 109% para o T1, 132% para o T2 e 58% para o T4. No caso do T3, é possível que tenha ocorrido fixação de N pela ação de bactérias diazotróficas de vida livre (Höfig *et al.*, 2022), resultando em compostos orgânicos de melhor qualidade em relação ao teor de N. A manutenção de condições controladas de temperatura, umidade e aeração durante o processo de compostagem contribuiu para a obtenção de compostos de melhor qualidade nutricional em comparação ao T0 em todos os tratamentos.

No tratamento T4, onde os aditivos kamafugito e quartzito foram adicionados após o processo de compostagem, observou-se a menor elevação no teor de N, o que pode ser resultado de uma maior perda de N, resultando em um composto com menor qualidade em comparação aos outros tratamentos. No entanto, é importante ressaltar que esses resultados atendem ao teor mínimo de N exigido pela legislação vigente, que é de 1% de acordo com a (IN) Nº 61 do MAPA (Brasil, 2020).

O aumento da concentração de minerais pode ser observado no produto final de compostos que passam por processo de compostagem. No entanto, as condições de manejo da compostagem, em alguns casos, podem facilitar a perda de N na atmosfera na forma de NH_3 (Kentron; Gomes, 2014). A mineralização de N é um processo que ocorre em dois estágios, com a liberação de NH_4 do N orgânico e a nitrificação. A nitrificação é a conversão da forma mais reduzida de nitrogênio (NH_3) para nitrato NO_3^- (forma mais oxidada), sendo realizadas em duas etapas por dois grupos de microrganismos, bactérias oxidantes de amônia e bactérias oxidantes de nitritos. A nitrificação é uma transformação que ocorre na compostagem durante a cura ou maturação do composto (Cáceres, 2018).

Em todos os tratamentos, a utilização de maravalha junto à cama de aves garantiu a manutenção da qualidade dos compostos finais em relação ao teor de N, sem ocorrer diminuição da porcentagem de N em nenhum tratamento.

Ao comparar a compostagem de esterco de aves (pilha 1), esterco de aves e palha (pilha 2) e esterco de aves e maravalha (pilha 3), observou-se que a pilha 1 perdeu mais matéria orgânica e N ($\geq 92,9\%$ e $92,0\%$, respectivamente). Já a pilha 2, com maravalha, apresentou a menor perda no teor de N ($88,9\%$). A influência positiva para a qualidade do composto final com a utilização de materiais como maravalha e palhas ricos em carbono na compostagem foi observada no estudo (Silva *et al.*, 2009). A perda de N observada na compostagem de esterco de galinha, maravalha, restos de ração e penas foi de 59% em relação ao início do processo. Esse resultado foi atribuído à volatilização de NH_3 , que pode ocorrer devido às propriedades do material inicial e às condições de compostagem, como aeração, teor de umidade, temperaturas elevadas e valores de pH 7 (Tiquia; Tam, 2000).

4.2.2 Cálcio

O teor de Ca apresentou um aumento médio de 120% nos tratamentos no composto final, o que foi estatisticamente significativo. Esse aumento é particularmente notável, superando o observado em um estudo anterior que envolveu o enriquecimento do esterco de galinha com pó de rochas silicatadas, onde o aumento de Ca foi de 50% em relação ao tratamento testemunha (Kentron; Gomes, 2014).

A concentração de Ca nos compostos finais dos tratamentos satisfaz as exigências da Instrução Normativa (IN) N° 61 do MAPA (Brasil, 2020) em relação aos 3% mínimos necessários de macronutrientes secundários (Ca, Mg e S) em compostos orgânicos. Esses resultados garantem produtos em conformidade com as normativas governamentais.

4.2.3 Macronutrientes

Ao comparar a média dos teores de P, K, Mg e S, verificou-se que não houve interação significativa entre os tratamentos e as épocas de avaliação. Os teores médios de P, K, Mg e S nos compostos finais foram de 0,59%, 2,95%, 0,64% e 0,47%, respectivamente.

O teor de P no T1 diminuiu 20% no composto final, mas aumentou 16% em relação ao T0. Nos outros tratamentos, o aumento do P no composto final foi de 14% para o T2, 13% para o T3 e 16% para o T4. Em relação ao TC, ocorreu um aumento médio de 67% nos tratamentos T2, T3 e T4.

Os teores médios de K em relação ao TC apresentaram um aumento de 84%. Em relação ao composto final, o teor de K aumentou 37% para o T1, 38% para o T2, 29% para o T3 e 17% para o T4. Embora não seja estatisticamente significativo, o aumento da concentração de minerais pode ser observado no produto final de compostos que passam pelo processo de compostagem (Kentron; Gomes, 2014). Os teores de P e K atenderam aos parâmetros estabelecidos na IN N° 61 do MAPA (Brasil, 2020) para macronutrientes primários (NPK), que devem estar acima de 5% nos compostos finais da compostagem. Seu aumento no composto final é importante para a qualidade nutricional dos compostos orgânicos formados.

Para os compostos finais, o teor de macronutrientes secundários (Ca, Mg e S) somados ficou acima dos 3% exigidos na IN N° 61 do MAPA (Brasil, 2020), apesar da menor contribuição do Mg e do S. O teor de Mg aumentou no composto final em 25% para o T1, 27% para o T2, e 19% para o T3 e T4. Já o teor de S aumentou em 51% para o T1, 253% para o T2, 88% para o T3 e 45% para o T4. Esses resultados demonstram a eficácia dos tratamentos nos compostos finais em relação aos macronutrientes secundários.

4.2.4 Micronutrientes

Em relação aos micronutrientes B, Cu, Mn, Zn e Fe, não foram observadas interações significativas entre os tratamentos e as épocas de avaliação, ao analisar dados do composto inicial e do composto final.

No que diz respeito ao B, observou-se uma diminuição no composto final no T1 (apenas maravalha), de 49,7% para 40,7%, enquanto nos outros tratamentos (T2, T3, T4) houve um aumento. O Cu aumentou em todos os tratamentos no composto final, com os maiores aumentos registrados no T2 (de 33,6% para 52,3%) e no T4 (de 40,23% para 64,2%). Quanto ao Mn e Zn, também houve um aumento não significativo em todo o composto final. Os teores médios

nos tratamentos para B, Cu, Mn, Zn e Fe foram, respectivamente, 50,78%; 52,22%; 476,6%; 251,83% e 1.953%.

Assim como observado em um estudo (Kentron; Gomes, 2014) anterior sobre o enriquecimento mineral de compostos orgânicos com esterco de galinha utilizando pó de rochas silicatadas, os micronutrientes quantificados nas análises pouco diferiram com a adição dos pós de rochas quartzito e kamafugito, mas atenderam aos parâmetros exigidos na legislação vigente (Brasil, 2020), garantindo resultados conforme exigido pelas regulamentações governamentais.

4.2.5 Variáveis físico-químicas

O pH manteve-se dentro da faixa de 7,5 a 8,0 em todos os tratamentos, atendendo aos requisitos estabelecidos pelo Ministério da Agricultura (Brasil, 2020b). Esse intervalo é considerado ideal, indicando que o processo de compostagem ocorreu de maneira adequada (Höfiget *et al.*, 2022).

A umidade é um fator crucial para a qualidade do composto final. De acordo com a IN Nº 61 de 08/07/20 (Brasil, 2020), para fertilizante orgânico simples processado (estercos e camas), a umidade máxima é de 40%, enquanto para fertilizante orgânico misto ou orgânico composto sólido, é de 50%. A umidade diminuiu nos tratamentos em relação ao início da compostagem, mantendo-se entre 14% e 16% no composto final. Essa faixa de umidade é considerada adequada aos padrões de qualidade de compostos orgânicos, contribuindo para evitar a perda de nitrogênio por volatilização de amônia e mantendo as condições ideais para a degradação microbológica (Fioreza; Serantoni; Azevedo, 2020).

Embora não tenha ocorrido uma diferença significativa, a matéria orgânica diminuiu nos compostos finais, ficando em média 40,56% nos tratamentos. Esse declínio indica a estabilização do composto orgânico (Keiji *et al.*, 2012).

Quanto ao CO, o tratamento T1 iniciou em 29,33%, devido à maior concentração de maravalha. No entanto, todos os tratamentos apresentaram uma redução no CO nos compostos finais, em média de 15%, resultando em um valor médio de 23,6%. Esse decréscimo no teor de C indica uma menor quantidade de material biodegradável no final do processo de compostagem, devido à degradação da matéria orgânica carbonácea (Fioreza; Serantoni; Azevedo, 2020).

A porcentagem de ácido fúlvico nos compostos finais foi de 3,6%; 3,35%; 2,76% e 2,35% respectivamente nos tratamentos T1, T2, T3, T4. Para os ácidos húmicos a porcentagem foi de 3,98%; 3,15%; 2,76% e 2,35% nos tratamentos T1, T2, T3, T4. Esses resultados refletem

o processo de humificação ocorrido nos compostos durante o estudo, onde a estabilização química da matéria orgânica levou à formação de substâncias húmicas, predominantemente ácidos fúlvicos e ácidos húmicos, que ocorrem em mistura nos sistemas naturais (Baldotto; Baldotto, 2014) e melhoram a qualidade do solo.

A presença dessas substâncias nos compostos finais é crucial, pois, ao serem aplicados nos solos, os ácidos húmicos podem melhorar diversos aspectos físicos, químicos e biológicos do sistema, tais como agregação, porosidade, capacidade de troca iônica e complexação de íons tóxicos (Baldotto; Baldotto, 2014).

A relação entre ácidos húmicos e ácidos fúlvicos (AH/AF) variou de 0,95 a 1,1 em todos os tratamentos, indicando um bom grau de maturação (Höfig *et al.*, 2022) dos compostos, o que é fundamental para seu uso eficaz no solo. Além disso, a alta CTC, que foi maior nos compostos dos tratamentos T1 (265,7mmol/kg) e T2 (330,8 mmol/kg) em comparação com T3 (124 mmol/kg) e T4 (176,8 mmol/kg). Uma maior CTC nos compostos orgânicos é especialmente benéfica para solos tropicais, que geralmente possuem baixa CTC (Baldotto; Baldotto, 2014). A alta CTC demonstra a qualidade dos compostos obtidos no estudo que comparado aos 70% de CTC de um estudo (Garcia *et al.*, 2020) anterior, foi maior indicando serem materiais ricos em substâncias húmicas e com uma boa relação de C/N (Garcia *et al.*, 2020).

Quanto ao teor de silício, não houve diferenças significativas entre os compostos nos diferentes tratamentos, apesar das variações nas porcentagens de 6,89% (T1), 5,81% (T2), 5,84% (T3) e 6,54% (T4). A presença de Si nos compostos é importante, pois a suplementação de Si pode aumentar os mecanismos de defesa das plantas, promover a regulação hormonal e reduzir os efeitos adversos dos fatores abióticos em diversas culturas (Khan *et al.*, 2023).

5 CONCLUSÃO

A incorporação de remineralizador kamafugito e de pó de quartzito junto com maravalha na compostagem da cama de aviário durante a fase de postura das galinhas resultou em compostos orgânicos de alta qualidade. Isso foi evidenciado pela maior concentração de nitrogênio e menor relação carbono/nitrogênio em comparação aos tratamentos que utilizaram apenas maravalha ou os aditivos adicionados após a fase de postura.

É fundamental ressaltar que todos os produtos obtidos nos diferentes tratamentos atenderam aos parâmetros estabelecidos pela instrução normativa N° 61 (MAPA SDA), de 08 de julho de 2020, em relação às quantidades de macronutrientes primários e secundários, bem como à presença de micronutrientes. Os compostos estão em total conformidade com as exigências e especificações dessa instrução, tanto para fertilizantes orgânicos simples processados (estercos e camas), quanto para fertilizantes orgânicos mistos ou compostos sólidos destinados à agricultura.

A alta Capacidade de Troca de Cátions em todos os tratamentos indica a qualidade dos compostos obtidos no estudo. Eles possuem uma soma de macronutrientes primários superior a 5%, conforme requerido, e macronutrientes secundários acima de 3%. Esses resultados diferem significativamente do tratamento controle (T0), que apresentou uma soma de macronutrientes primários de apenas 3,52%.

É importante destacar que o tratamento mais eficaz foi o T3 (com 23% de kamafugito), que exibiu o maior teor de nitrogênio entre todos os tratamentos, atingindo 6,28%.

O estudo contribuiu significativamente por demonstrar que a utilização dos aditivos ainda na fase de posturas das galinhas contribuiu para a formação de compostos orgânicos de alta qualidade para a agricultura.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro das agências CAPES, CNPq, FAPEMIG e FINEP (Projeto REMAg, Ref. 1541/22).

REFERÊNCIAS

BALDOTTO, Marithus. Alto é; BALDOTTO, Lílian Estrela Borges. Ácidos húmicos. **Rev. Ceres.**, v. 61, p. 856-881, 2014. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000011>.

BEERLING, David. J. *et al.* Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security. **Nat Plants.**, 4, n. 3, p. 138-147, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41477-018-0108-y>.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 61 de 08 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, tolerâncias, registro, garantias, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura.** Ministério da Agricultura e Pecuária, Secretaria de Defesa Agropecuária, 2020. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=398558>. Acesso em: 21 mai. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Instrução Normativa nº 5 de 10-3-16 sobre remineralizadores e substratos para plantas.** Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: MAPA, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-remineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf/view>. Acesso em 06 fev. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Instrução Normativa SDA nº 61, de 08 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura.** Publicado no D.O. de 15 julho de 2020, 2020b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos.** Brasília: MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária, 2017.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos,** 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 29 jun. 2022.

CÁCERES, M. M. Nitrification within composting: A review. **Waste Manage**, v. 72, p. 119-137, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.049>.

CURTIS, J. C. D.; LUCHESE, A. V.; MISSIO, R. F. Evaluation of microbial activity, N-NH₃ and CO₂ losses in poultry litter treated with basalt rock powder. **Internat. Journal of recyc. of organic waste in agric.**, v. 12, p. 25-35, 2023. DOI.org/10.30486/IJROWA.2022.1932913.1270x.

DUTRA, E.; MENEZES, R. S. C.; PRIMO, D. C. Adições de nutrientes na compostagem de podas de árvores na região semiárida do NE do Brasil. **Sci. Plena**, v. 9, n. 7 (a), 2013.

EUROPEIA COMMISSION. Animals used for scientific purposes. **Diretiva 2010/63/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 22 de setembro de 2010, relativa à proteção de animais utilizados para fins científicos**, 2014. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/63/oj>. Acesso em: 03 mai. 2023.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Plano de ação para a sustentabilidade do setor de rochas ornamentais – quartzito**. São Thomé das Letras / Fundação Estadual do Meio Ambiente. - Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2009. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/arquivos/producaosustentavel/plano_de_acao_rochas_ornamentais_quartzitos.pdf . Acesso: 12 ago. 2020.

FERREIRA, B. C. *et al.* Kamafugite from the Alto Paranaíba Province as a multi-nutrient fertilizer. **J. Agric. Sci.** 12(10), 213, 2020. <http://doi.org/10.5539/jas.v12n10p213>.

FIOREZE, M.; SERANTONI, N.; AZEVEDO, M. de. Método simplificado de compostagem para tratamento de cama de frango. **Revista AIDIS de Ing. y C. A. Invest., desarrollo y práctica**, 13(1), 20-32, 2020. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.1.63697>.

GARCIA, S. S. R. *et al.* Análise comparativa de adubos orgânicos oriundos de diferentes tipos de compostagem. **Interfaces Cient.-Saúde e Amb**, v. 8, n. 2, p. 115-126, 2020. <https://doi.org/10.17564/2316-3798.2020v8n2p115-126>.

HÖFIG, P. *et al.* Avaliação da qualidade de um fertilizante produzido por compostagem conjunta de materiais orgânicos e rochas moídas. **Rev. em Agron. e Meio Amb.**, v. 15, n. 3, p. 1-18, 2022. <http://https://doi.org/10.17765/2176-9168.2022v15n3e9820>. Acesso em: 18 out. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**, 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/tres-coracoes.html>. Acesso em: 07 ago. 2023.

KEIJI J. M. A. *et al.* Biochar influences the microbial Community structure during manure. **Sci. Total Environ**, v. 416, p. 476-481, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.12.009>.

KENTRON L.; GOMES, T. C. de A. Concentração De Nutrientes Em Compostos Orgânicos Influenciada Pela Adição De Pós De Rochas Silicatadas. **EDUCTE: Rev. Cient.do Instit. Fed.l de Alagoas**, 2(2), 2014. <https://periodicos.ifal.edu.br/educte/article/view/40>.

KHAN, I. *et al.* Silicon: an essential element for plant nutrition and phytohormones signaling mechanism under stressful conditions. **Plant Growth Regul**, v. 100, n. 2, p. 301-319, 2023.

LIMA, C. C. *et al.* Chemical characterization of residues from biodiesel production composted with mineral addition. **Rev. Bas. de Eng. Agríc. e Amb.**, v. 13, n. 3, p. 334-341, 2009.

LUCCA, W. *et al.* Efeito de diferentes tratamentos químicos em cama para aves de corte. **Rev. Agrogeoamb.**, [S. l.], v. 4, n. 1, 2012. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v4n12012371>.

MOTTA JUNIOR, R.L. *daet al.*. Analysis of Potential Applications of Kamafugite Rocks in Fertilizer. *In: Li, J. et al. Characterization of Minerals, Metals, and Materials. The Minerals, Metals & Materials Series. Springer Link*, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65493-1_22.

PIATV - Programa Interlaboratorial de Análise de Tecido Vegetal, PIATV. **Metodologias do PIATV**, 2019. Disponível em: <https://www.piatv.com.br/>. Acesso em: 05 mar. 2022.

PROFERT - Programa Interlaboratorial de Controle de Qualidade de Análise de Solo de Minas Gerais. **Manual profert1-1.MG - 06/07/2005**, 2005. Disponível em: <https://www.profertmg.com.br/secao.htm?idSecao=47>. Acesso em: 05 mar. 2022.

R Core Team R: **A Language and Environment for Statistical Computing**. R Found. For Stat. Comput. Vienna, Austria, 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 17 abr. 2022.

RAMOS, C. G. *et al.* Evaluation of the potential of volcanic rock waste from southern Brazil as a natural soil fertilizer. **Journal of Cleaner Production**, 142, 2700-2706, 2017. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.006>.

ROGERI, D. A. *et al.* Composition of poultry litter in Southern Brazil. **O Cienc.Solo.**, v. 40, 2016. <http://doi.org/10.1590/18069657rbc20140697>.

SHAJI, H.;CHANDRAN, V.;MATHEW, L.. Organic fertilizers as a route to controlled release of nutrients. *In.*: Controlled release fertilizers for sustainable agriculture. **Acad. Press.**, pp. 231-245, 2021. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819555-0.00013-3>.

SILVA, M. E. *et al.* Co-composting of poultry manure with low quantities of carbon-rich materials. **WasteManage. Res.**, v. 27, n. 2, p. 119-128, 2009. <http://doi.org/10.1177/0734242X08096693>.

SOARES, J. D. R. *et al.* Compostagem De Resíduos Agrícolas: Uma Fonte De Substâncias Húmicas. **Sci. Agrar. Paranaensis.**, 16(4), 2017.

SOUZA, F. N. S. *et al.* Efeitos condicionador e nutricional de um remineralizador de solos obtido de resíduos de mineração. **Agri-Environ. Sci.**, v. 3, n. 1, p. 1-14, 2017. <http://doi.org/10.36725/agries.v3i1.204>.

SOUZA, L. A. de *et al.* Análise dos principais parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n. 3, 2020.

STRAATEN, P. V.. Distribution of agromineral resources in space and time—a global geological perspective. **Pesqui. Agropecu. Bras.** 57, 2022. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.01453>.

SWOBODA, P.;DÖRING, T. F.;HAMER, M.. Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review. **Sci. Total Environ.**, 807, 150976, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150976>.

TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y. Fate of nitrogen during composting of chicken litter. **Environ. Pollut.**, v. 110, n. 3, p. 535-541, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00319-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00319-X).

VALENTIM, J. K.*et al.* Qualidade da carne de frangos de corte submetidos a diferentes tipos de cama com inclusão de gramínea. **Res. Soc. and Dev.**, 9(5), 2020.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A amônia produzida pela decomposição química do ácido úrico, presente na cama, de aviário gera impacto ambiental e na saúde dos animais e das aves. As camas de aviário são formadas por esterco e materiais utilizados para a criação de galinhas que após sua utilização se tornam resíduos, que também geram impacto ambiental quando descartados. Buscou-se no estudo testar aditivos que promovessem a redução da amônia e ao mesmo tempo garantissem um composto orgânico, após compostagem da cama de aviário, com qualidade para ser utilizado na agricultura.

No primeiro artigo foi avaliada a amônia volátil (AV) em relação às médias de temperatura (T) com cortinas abertas e fechadas na cama de aviário composta apenas de maravalha. Verificou-se que ocorreu diferença significativa ao avaliar a AV; as médias de temperatura T e AV foram: 24°C e 6,4ppm com cortinas abertas e 17°C e 17ppm com cortinas fechadas. Na segunda etapa do estudo foi avaliada a redução de amônia no ambiente utilizando rejeito de quartzito com teor de SiO₂ de 98% e remineralizador kamafugito com teor de SiO₂ de 35%, como aditivos na cama de aves de maravalha.

No galpão os resultados combinados com cortinas fechadas foram eficazes na redução de amônia no ambiente, mantendo a AV dentro dos níveis aceitáveis (até 10 ppm). Os aditivos usados com maravalha reduziram a emissão de amônia em galpões com pouca ventilação, mesmo com maior temperatura no ambiente e com a tendência de aumento da amônia volátil ao longo do tempo, com aumento da quantidade de dejetos na cama de aviário. Nesse sentido verificou-se que a concentração de amônia permaneceu abaixo do limite no galpão com cortinas fechadas.

Recomenda-se a utilização dos pós de quartzito e kamafugito como aditivos na maravalha para reduzir a emissão de amônia na cama de aviário em ambientes com pouca ventilação, considerando a viabilidade econômica e a disponibilidade regional dos materiais, que podem também reduzir o impacto ambiental na geração de resíduos de mineração como no caso da utilização de rejeito de quartzito.

No segundo artigo buscou-se avaliar a concentração de nutrientes de fertilizantes oriundos da compostagem conjunta de cama de frango em fase de postura. O pó de quartzito e o remineralizador kamafugito que foram aplicados, durante a etapa de posturas das aves, foram avaliados em quatro tratamentos distintos na cama de frango com maravalha: T0 (sem controle); T1 (controle) sem aditivos; adição de 30% de pó de quartzito no T2; T3 adição de 30% de

kamafugito; e T4 combinação kamafugito e quartzito (30% cada), sendo que este último adicionado após a fase de postura das aves. A cama foi submetida à compostagem por 110 dias.

Os resultados das análises dos compostos estabilizados após a compostagem indicam que todos os materiais gerados nos quatro tratamentos são viáveis para uso agrícola, atendendo aos parâmetros estabelecidos pela instrução normativa N° 61 (MAPA SDA), de 08 de julho de 2020. Os compostos estão adequados em relação às quantidades de macronutrientes primários e secundários, bem como à presença de micronutrientes tanto para fertilizantes orgânicos simples processados (esterços e camas), quanto para fertilizantes orgânicos mistos ou orgânicos compostos sólidos, destinados à agricultura.

A redução da emissão de amônia ambiente foi verificada no início da pesquisa com os aditivos, essa redução pode ter contribuído para a manutenção do N na cama de aviário que contribuiu com o aumento significativo nos níveis de nitrogênio (N), em T1, T2, T3 e T4 após a compostagem.

O estudo demonstrou a eficácia de dois aditivos utilizados na etapa de posturas das aves, que possibilitaram a redução de emissão de amônia e melhoraram a qualidade dos compostos orgânicos formados após compostagem realizada em processo controlado. Em uma próxima etapa da pesquisa é interessante realizar estudos de campo em longo prazo, com aplicação em culturas das camas de frango compostadas com pó de rochas e remineralizadores, buscando verificar os efeitos nos atributos do solo e nas culturas agrícolas.

ANEXO A – Certificado de análise química do pó de quartzito

CERTIFICADO DE ANÁLISE QUÍMICA – N° 968/22-01

Data de recebimento: 23/11/2022.

Solicitante: Tatiana Carvalho.

Identificação da amostra: Pó de quartzito.

Metodologias: fluorescência de raios X em pérola fundida da amostra com tetraborato de lítio e perda ao fogo (P.F.) por calcinação até 1000°C.

Observações: limite de detecção = 100 ppm (0,01%).

Óxidos	Resultados (%)
P.F.	0,10
SiO ₂	98,58
Al ₂ O ₃	0,96
Fe ₂ O ₃	0,13
TiO ₂	0,01
CaO	< 0,01
MgO	< 0,01
Na ₂ O	< 0,01
K ₂ O	0,11
MnO	< 0,01
P ₂ O ₅	0,06



www.crceram.com.br

+55 16 3306 9983

Parque Eco Tecnológico Damha I,
Alameda Shinlioku Tanaka nº 1, Unidade 34,
CEP: 13.565-261 - São Carlos - SP

Página 1 de 4

ANEXO B – Certificado de análise mineralógica do pó de quartzito

CERTIFICADO DE ANÁLISE MINERALÓGICA – N° 968/22-01

Data de recebimento: 23/11/2022.

Solicitante: Tatiana Carvalho.

Identificação da amostra: Pó de quartzito.

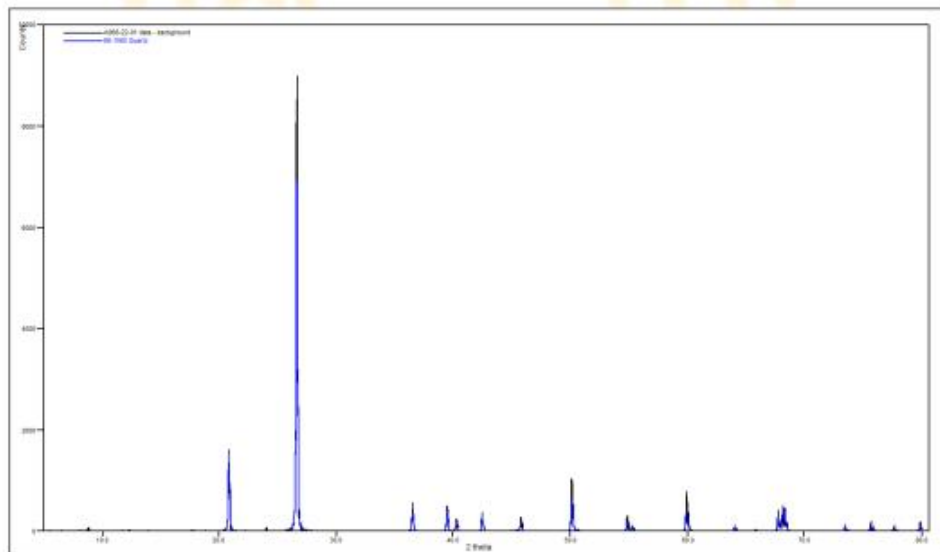
Equipamento: Rigaku Ultima IV.

Metodologia: difração de raios X pelo método do pó.

Parâmetros: varredura: 5° a 80° (2 theta); passo: 0.0200/segundo; velocidade: 50°/minuto; tensão: 40 Kv e 20 mA; tubo selado de cobre.

Observações: –

Minerais identificados	Teor estimado (%)
Quartzo	99
Outros	1



www.crceram.com.br

+55 16 3306 9983

Parque Eco Tecnológico Damha I,
Alameda Shinjoku Tanaka nº 1, Unidade 34,
CEP: 13.565-261 - São Carlos - SP

Página 2 de 4

ANEXO C – Certificado de análise: área superficial específica do pó de quartzito**CERTIFICADO DE ANÁLISE: ÁREA SUPERFICIAL ESPECÍFICA - N° 968/21-01**

Data de recebimento: 23/11/2022.

Solicitante: Tatiana Carvalho.

Identificação da amostra: Pó de quartzito.

Equipamento: Micromeritics - Modelo Flowsorb II 2300.

Metodologia: B.E.T. por adsorção física de nitrogênio.

Observações: –

Ensaio	Área superficial BET (m ² /g)
1	0,688
2	0,685
Média	0,68



www.crceram.com.br

+55 16 3306 9983

Parque Eco Tecnológico Damha I,
Alameda Siniloku Tanaka nº 1, Unidade 34,
CEP: 13.565-261 - São Carlos - SP

Página 3 de 4

ANEXO D – Certificado de análise: determinação da capacidade de troca de cátions do pó de quartzito

CERTIFICADO DE ANÁLISE: DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS – N° 968/22-01

Data de recebimento: 23/11/2022.

Solicitante: Tatiana Carvalho.

Identificação da amostra: Pó de quartzito.

Metodologia: Índice de azul de metileno por adsorção deste reagente.

Observações: –

CTC (meq/100g)

0,5

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE

- Os resultados apresentados neste relatório se referem às amostras da forma como recebidas. O CRC não se responsabiliza pela representatividade da amostragem realizada pelo interessado, salvo nos casos em que se tenha acompanhado diretamente a coleta das amostras;
- As amostras permanecem armazenadas no laboratório por um período de 03 meses após o envio do relatório e posteriormente são descartadas;
- O CRC não se responsabiliza pela interpretação indevida dos resultados apresentados neste relatório;
- Este documento só pode ser reproduzido em sua totalidade, sendo proibida sua reprodução parcial.

São Carlos, 06 de dezembro de 2022.



Dr. Fábio G. Melchades
CREA nº 5069360709
Responsável Técnico



www.crceram.com.br

+55 16 3306 9983

Parque Eco Tecnológico Damha L,
Alameda Sinlioku Tanaka nº 1, Unidade 34,
CEP: 13.565-261 - São Carlos - SP

Página 4 de 4

ANEXO E – Certificado de análise química do kamafugito**CERTIFICADO DE ANÁLISE QUÍMICA – N° 968/22-02**

Data de recebimento: 23/11/2022.

Solicitante: Tatiana Carvalho.

Identificação da amostra: Kamafugito.

Metodologias: fluorescência de raios X em pérola fundida da amostra com tetraborato de lítio e perda ao fogo (P.F.) por calcinação até 1000°C.

Observações: limite de detecção = 100 ppm (0,01%).

Óxidos	Resultados (%)
P.F.	5,22
SiO ₂	34,79
Al ₂ O ₃	8,53
Fe ₂ O ₃	21,59
TiO ₂	8,30
CaO	6,03
MgO	6,34
Na ₂ O	0,15
K ₂ O	3,84

ANEXO F – Certificado de análise mineralógica do kamafugito

CERTIFICADO DE ANÁLISE MINERALÓGICA – N° 968/22-02

Data de recebimento: 23/11/2022.

Solicitante: Tatiana Carvalho.

Identificação da amostra: Kamafugito.

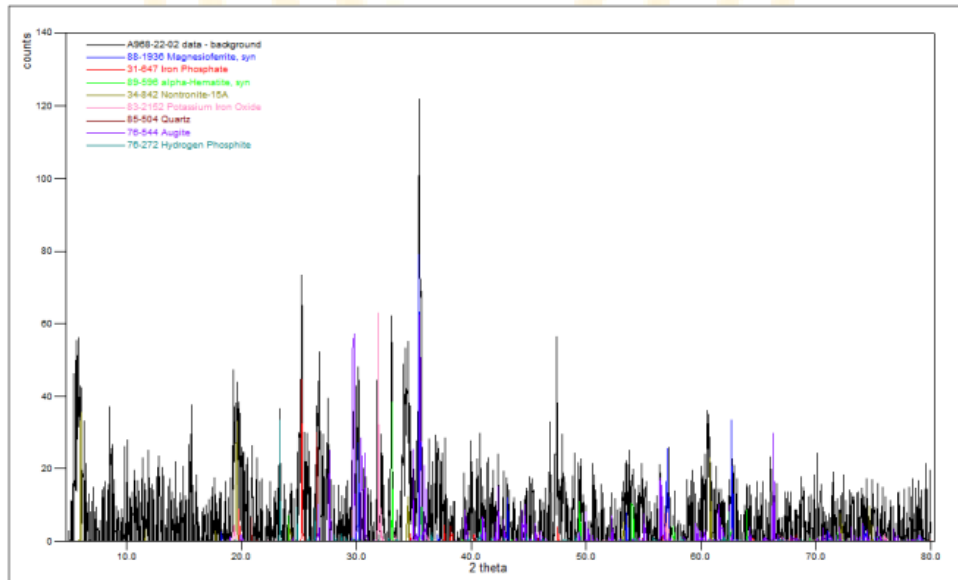
Equipamento: Rigaku Ultima IV.

Metodologia: difração de raios X pelo método do pó.

Parâmetros: varredura: 5° a 80° (2 theta); passo: 0.0200/segundo; velocidade: 50°/minuto; tensão: 40 Kv e 20 mA; tubo selado de cobre.

Observações: –

Minerais identificados		Minerais identificados	
Quartzo	Presente	Nontronita	Presente
Ferrita de Magnésio	Presente	Ferrato de Potássio	Presente
Fosfato de Ferro	Presente	Augita	Presente
Hematita	Presente	Fosfito de Hidrogênio	Presente



www.crceram.com.br

+55 16 3306 9983

Parque Eco Tecnológico Damha I,
Alameda Sinlioku Tanaka nº 1, Unidade 34,
CEP: 13.565-261 - São Carlos - SP

Página 2 de 4

ANEXO G – Certificado de análise: área superficial específica do kamafugito**CERTIFICADO DE ANÁLISE: ÁREA SUPERFICIAL ESPECÍFICA - N° 968/21-02**

Data de recebimento: 23/11/2022.

Solicitante: Tatiana Carvalho.

Identificação da amostra: Kamafugito.

Equipamento: Micromeritics - Modelo Flowsorb II 2300.

Metodologia: B.E.T. por adsorção física de nitrogênio.

Observações: -

Ensaio	Área superficial BET (m ² /g)
1	30,099
2	30,979
Média	30,54



www.crceram.com.br

+55 14 3356 9983

Parque Eze Tecnológico Boreka I,
Avenida Antônio Tonato nº 1, Unidade 34
CEP: 13.365-291 - São Carlos - SP

Página 3 de 4

ANEXO H – Certificado de análise: determinação da troca de cátions do kamafugito

**CERTIFICADO DE ANÁLISE:
DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS – N° 968/22-02**

Data de recebimento: 23/11/2022.

Solicitante: Tatiana Carvalho.

Identificação da amostra: Kamafugito.

Metodologia: Índice de azul de metileno por adsorção deste reagente.

Observações: –

CTC (meq/100g)

10,0

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE

- Os resultados apresentados neste relatório se referem às amostras da forma como recebidas. O CRC não se responsabiliza pela representatividade da amostragem realizada pelo interessado, salvo nos casos em que se tenha acompanhado devidamente a coleta das amostras;
- As amostras permanecem armazenadas no laboratório por um período de 03 meses após o envio do relatório e posteriormente são descartadas;
- O CRC não se responsabiliza pela interpretação indevida dos resultados apresentados neste relatório;
- Este documento só pode ser reproduzido em sua totalidade, sendo proibida sua reprodução parcial.

São Carlos, 06 de dezembro de 2022.



Dr. Fábio G. Melchiorides
CREA nº 5069060709
Responsável Técnico



www.crceram.com.br

+55 16 3306 0903

Pavão Eixo Tecnológico Dama I,
Avenida Sírio Tibério nº 1, Setor 34,
CEP: 13.569-261 - São Carlos - SP

Página 4 de 4