

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE- UNICENTRO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

SANDRA BRIXI

**EFEITOS DA CAMA DO SISTEMA *COMPOST BARN* NAS PROPRIEDADES
FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO**

IRATI - PR

2021

SANDRA BRIXI

**EFEITOS DA CAMA DO SISTEMA *COMPOST BARN* NAS PROPRIEDADES
FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, da UNICENTRO.

Orientador: Prof. Dr. Valdemir Antoneli

Coorientador: Prof. Dr. João Anésio Bednarz

Irati - PR

2021

Catálogo na Publicação
Rede de Bibliotecas da Unicentro

B862e Brix, Sandra
Efeitos da cama do sistema *compost barn* nas propriedades físicas e químicas do solo / Sandra Brix. -- Irati, 2021.
x, 76 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, 2021.

Orientador: Valdemir Antoneli
Coorientador: João Anésio Bednarz
Banca examinadora: Valdemir Antoneli, Fernando Cesar Manosso, Ana Carolina Barbosa Kummer

Bibliografia

1. Confinamento. 2. Dejetos bovinos. 3. Parâmetros físicos e químicos do solo. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

| CDD 628.4



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE/UNICENTRO
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - PROPESP
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental
Associação ampla entre a UNICENTRO e UEPG



TERMO DE APROVAÇÃO

Sandra Brixi

Efeitos da cama do sistema *compost barn* nas propriedades físicas e química do solo

Dissertação aprovada em 30/09/2021, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Sanitária e Ambiental, área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:

Dr. Valdemir Antoneli

Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientador e Presidente da Banca

Dr. Fernando Cesar Manosso

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Ana Carolina Barbosa Kummer

Universidade Estadual do Centro-Oeste

Irati-PR, 30 de setembro de 2021.

“Sábio é o ser humano que tem coragem de ir diante do espelho da sua alma para reconhecer seus erros e fracassos e utiliza-los para plantar as mais belas sementes no terreno de sua inteligência.”

Augusto Cury

AGRADECIMENTOS

À Deus, por estar comigo em todos os momentos da minha vida e permitir que mais uma etapa da minha formação fosse finalizada; por toda a proteção nas idas e vindas e por me encorajar neste desafio;

À minha família pelo amor incondicional, por terem acreditado em mim, me incentivando em todas as decisões e sempre mostrando a importância dos estudos;

Ao meu filho Philippe, por todas as suas lágrimas na minha ausência ou na minha falta de tempo, mas saiba que você é a minha inspiração e minha motivação;

Sou grato pela confiança depositada na minha proposta de projeto pelo meu orientador professor Dr. Valdemir Antonelli. Obrigado por me manter motivada durante todo o processo, pelos ensinamentos, dedicação e paciência;

Ao professor Dr. João Anésio Bednarz, meu coorientador, pelo auxílio em toda a etapa da realização das análises físicas e na condução deste trabalho;

Ao Sr. Pedro Ivo Ilkiw por ter disponibilizado sua propriedade para a realização deste estudo;

A todos os professores e funcionários do PPGSA, pelos ensinamentos, apoio e suporte durante o curso.

À minha amiga e colega de curso Fabiana L. Roginski, pelo auxílio durante a elaboração deste trabalho, pelo apoio e incentivo;

À amiga Enaiale Caroline de Paula, pelas dicas durante a realização das análises laboratoriais;

Por fim, meu muito obrigada a todos os que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.

RESUMO

A intensificação na criação de animais é uma tendência em todo o mundo, pois é necessário produzir mais e utilizar menores áreas, no entanto existe uma grande problemática relacionada à maior concentração na produção de dejetos que devem receber um tratamento e destinação adequados. A produção de leite brasileira também está seguindo esta tendência através da utilização de alguns modelos de sistema de confinamento das vacas. Um dos sistemas que está ganhando espaço não somente no nosso país é o Sistema *Compost Barn* que alia a sanidade, bem estar animal e o tratamento dos dejetos gerados através de um processo de compostagem, sendo que os animais permanecem livres em uma área de descanso denominada de cama, que é formada por resíduos vegetais e os dejetos que são manejadas de forma semelhante a uma pilha de compostagem. Esta cama permanece no estábulo por um período de 12 meses. A destinação de dejetos de origem animal mais comum é a sua utilização como fertilizantes em áreas agrícolas, entretanto, podem causar degradação ambiental quando não utilizados nas quantidades possíveis de fornecimento de nutrientes para as plantas cultivadas. Os dejetos podem ser considerados como fertilizantes orgânicos, pois fornecem nutrientes e melhoram as propriedades físicas do solo devido ao incremento de matéria orgânica. O presente estudo foi realizado na Fazenda Três Gerações, localizada no município de União da Vitória – PR e teve como objetivo conhecer os efeitos da utilização da cama do sistema *Compost Barn* em propriedades físicas (porosidade, densidade e estabilidade dos agregados) e químicas do solo (pH, matéria orgânica, macro e micronutrientes) . Foram analisadas três áreas, sendo A1 uma área de floresta sem aplicação do composto; A2 área com apenas um ano aplicação de composto e A3 com cinco anos de aplicações de composto, sendo que A2 e A3 apresentam os mesmos cultivos e manejos. A área A3 apresentou aumento no teor de matéria orgânica o que levou a melhoria de alguns parâmetros físicos do solo. Houve também aumento do pH e de nutrientes no solo e para os elementos fósforo e zinco que são os mais preocupantes em relação a poluição ambiental, os níveis obtidos foram considerados aceitáveis pelos parâmetros agronômicos. O uso da cama se mostrou positivo em relação aos parâmetros físicos e químicos na área com maior tempo de aplicação gerando uma economia na utilização de fertilizantes químicos no cultivo agrícola.

Palavras-chaves: confinamento, dejetos bovinos, parâmetros físicos e químicos do solo.

ABSTRACT

The intensive rearing of animals for milk production has increased around the world, as it is necessary to produce more and use smaller areas. However, this intensification leads to greater production of manure, which in many cases is not treated properly. Milk production in Brazil has also increased in recent years. This increase is related to the implementation of new models and methods for raising animals. Among several systems used for the confinement of animals, there is one that comes space. This animal breeding model is called the Compost Barn System, which assesses the health, animal welfare and the treatment of waste generated through a composting process, with the animals remaining free in a resting area called a bed. This litter is formed by plant residues and remains in the stable for a period of 12 months. Animal manure has become a risk to the environment, however, many farmers have used this manure as organic fertilizer, however the excessive use of manure can cause environmental degradation of the soil. Manure is considered organic fertilizer as it provides nutrients and improves the physical properties of the soil. Therefore, the objective of this research was to know the effects of using the Compost Barn system litter on physical (porosity, density and stability of aggregates) and soil chemical (pH, organic matter, macro and micronutrients) properties. This study was carried out at the Farm Três Gerações, located in the municipality of União da Vitória – PR. Three areas were analyzed, A1 being a forest area without application of the manure; A2 area with only one year of manure application and A3 with five years of compost application, with A2 and A3 showing the same cultivation and management. Area A3 showed an increase in organic matter content, which led to an improvement in some soil physical parameters. There was also an increase in soil pH and nutrients and for the elements phosphorus and zinc, which are the most worrying elements in relation to environmental pollution, the levels obtained were considered acceptable by the agronomic parameters. The use of litter was positive in relation to physical and chemical parameters in the area with longer application time, generating savings in the use of chemical fertilizers in agricultural cultivation.

Keywords: confinement, cattle manure, physical and chemical soil parameters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>Layout</i> de um galpão de confinamento <i>Compost Barn</i>	25
Figura 2 – Mapa de localização da propriedade estudada.....	36
Figura 3 – Área de alimentação e de descanso do rebanho.....	37
Figura 4 - Fluxograma representativo do planejamento da pesquisa.....	40
Figura 5 – Áreas de estudo.....	41
Figura 6 – Coleta de solo utilizando o anel volumétrico.....	44
Figura 7 – Balão volumétrico com amostra de solo.....	45
Figura 8 – Recepção, peneiramento e secagem das amostras no laboratório.....	46
Figura 9 – Secagem, pesagem e determinação do teor de areia das amostras.....	47
Figura 10 – Coleta de amostras da cama.....	49
Figura 11 – Gráfico da porosidade do solo.....	60
Figura 12 – Gráfico da densidade do solo nas três áreas.....	62
Figura 13 – Gráfico do índice de estabilidade dos agregados.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo das características das áreas de estudo.....	41
Tabela 2 – Quantidade de amostras por parâmetro analisado.....	42
Tabela 3 – Análise química do composto.....	50
Tabela 4 – Valores de pH do solo nas áreas amostradas.....	52
Tabela 5 – Distribuição dos valores de matéria orgânica entre as três áreas.....	53
Tabela 6 – Distribuição dos valores de fósforo entre as três áreas.....	55
Tabela 7 – Distribuição dos valores de potássio entre as três áreas.....	56
Tabela 8 – Distribuição dos valores de cálcio entre as três áreas.....	57
Tabela 9 – Distribuição dos valores de magnésio entre as três áreas.....	58
Tabela 10 – Distribuição dos valores de cobre entre as três áreas.....	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA.....	14
2.1 A PECUÁRIA NO BRASIL.....	14
2.2 PECUÁRIA INTENSIVA E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS.....	17
2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS DEJETOS ORIUNDOS DA BOVINOCULTURA DE LEITE.....	20
2.4 TRATAMENTO DOS DEJETOS POR COMPOSTAGEM.....	21
2.5 SISTEMA <i>COMPOST BARN</i>	22
2.6 UTILIZAÇÃO DE DEJETOS COMO FERTILIZANTES E SUA INFLUENCIA NOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO.....	30
3. METODOLOGIA.....	36
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	36
3.2 ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	39
3.3 CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS DE COLETA DE SOLO	40
3.4 ANÁLISE QUÍMICA DE MACRO E MICRONUTRIENTES.....	43
3.5 PARÂMETROS FÍSICOS	43
3.5.1 Densidade do solo	43
3.5.2 Densidade de Partículas	45
3.5.3 Porosidade Total.....	46
3.5.4 Estabilidade dos Agregados.....	46
3.6 ANÁLISE QUÍMICA DA CAMA.....	48
3.7 ANÁLISE DOS DADOS.....	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50
4.1 ANÁLISE QUÍMICA DO COMPOSTO.....	50
4.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	52
4.3 ATRIBUTOS FÍSICOS.....	59
4.3.1 Porosidade.....	59
4.3.2 Densidade.....	61
4.3.3 Estabilidade dos Agregados das Diferentes Áreas.....	63
5. CONCLUSÃO.....	66
4. REFERÊNCIAS.....	68

1. INTRODUÇÃO

O leite é considerado um alimento de excelência e altamente necessário para qualquer idade do ser humano (LEITE, 2020). Sua produção ocorre em todas as regiões brasileiras e em praticamente todos os municípios. Além de sua importância nutricional, o leite em sua cadeia produtiva gera emprego e renda em todas as suas fases de produção.

De acordo com Leite (2020), o Brasil faz parte do grupo dos grandes produtores de leite de vaca do mundo, sendo que no ano de 2019 ocupou a quarta posição no *ranking* mundial, com uma produção anual de 34 bilhões de litros.

As informações do último Censo Agropecuário realizado em 2017, apontam que a produção de leite no Brasil é muito heterogênea, pois varia desde o perfil do produtor, tamanho do empreendimento, tipo e nível de intensificação do sistema. De acordo com informações deste levantamento, cerca de 93% dos produtores produzem menos de 200 litros de leite por dia, o que corresponde a 47% da produção, enquanto que 7% dos produtores são responsáveis por 53% de toda produção do leite de vaca no Brasil (IBGE, 2017).

Em uma análise das informações publicadas pelo IBGE nos anos de 2006 e 2017, Leite (2020) afirma que durante este período ocorreu uma redução de 13% do número de pequenos produtores, passando de 1,35 milhão para 1,18 milhão de produtores e deixando evidente a concentração da produção em propriedades de maior escala de produção. Ou seja, existindo a tendência da intensificação da produção.

O aumento da produção de leite envolve diversos fatores que exigem maior comprometimento financeiro do produtor, como é o caso da raça, genética, alimentação, tecnologias de manejo e conforto animal. Países desenvolvidos como é o caso dos Estados Unidos possuem vacas com produção anual de até 10,4 mil litros por ano, a média mundial de produção é de 3,5 mil litros por vaca/ano. A região sul do Brasil, onde se encontra a maior produção nacional, a média anual por vaca é de 3,44 mil litros, uma produção inferior à média mundial (VANOT, HERINGER E FAGNANI, 2020).

Os produtores dos países com melhores índices de produção investem em tecnologias para dar aos animais condições mais apropriadas para que atinjam seu maior potencial. Mota et al, (2017) afirmam que o regime de confinamento dos

animais é uma técnica comum para conseguir estas condições, além de que nestes países as áreas de terra apresentam altos custos e são limitadas próximos aos grandes centros urbanos, assim como o potencial limitado e a estacionalidade das forrageiras para garantir nutrientes necessários para sustentar altas produções dos rebanhos geneticamente melhorados.

O sistema de produção de leite em confinamento, segundo os mesmos autores, se difere muito daquele em que os animais têm acesso à pastagem: a alimentação é fornecida no cocho e as vacas necessitam de instalações confortáveis e funcionais que proporcionem um ambiente com conforto térmico para reduzir o estresse animal aumentando o bem estar e sua capacidade produtiva.

Existem diversos modelos de confinamento, no entanto, uma nova técnica conhecida como *Sistema Compost Barn* vem chamando a atenção de produtores brasileiros devido a diversas vantagens como o baixo custo para as instalações, a sanidade do rebanho, qualidade do leite produzido e também pelo bem estar dos animais.

Esta técnica foi implantada nos Estados Unidos no ano de 2001 e visa manter os animais estabulados em um barracão amplo, onde possuem livre acesso para área de alimentação e de descanso. No período de ócio, ficam sobre uma cama composta por resíduos vegetais (serragem ou palhas de culturas agrícolas) onde deixam os seus dejetos. A cama permanece no barracão por um período de aproximadamente um ano e os dejetos passam por um processo de compostagem o que torna o material rico em nutrientes. Devido ao sucesso, este modelo se espalhou pelo mundo, sendo que no Brasil a primeira instalação foi construída em 2012 no estado de São Paulo (MOTA et al., 2017).

A produção animal em sistema intensivo (confinamento) se caracteriza pela utilização intensiva de insumos na produção e na alta densidade animal trazendo benefícios de aumento de produção por área e maior controle das condições ambientais. No entanto, Seganfredo (2020) aponta um problema quanto à destinação das dejeções dos animais criados neste sistema.

O uso de dejetos animais como fertilizantes em áreas agrícolas é uma prática comum, sendo esta a destinação mais usual destes resíduos, mas, quando aplicados de forma a superar a sua capacidade de reciclagem podem trazer riscos de poluição ambiental para o solo e água (SEGANFREDO, 2020). De acordo com Konzen e Alvarenga (2005), a utilização de dejetos em doses adequadas podem

suprir a necessidade de nutrientes de maneira parcial ou total para a produção de grãos ou pastagens. Gatiboni e Nicoloso (2019) afirmam que além de fornecer nutrientes, os dejetos também fornecem matéria orgânica que age sobre atributos físicos do solo como a agregação e densidade de partículas.

Por ser um sistema de confinamento relativamente novo no Brasil, a maioria dos estudos realizados estão relacionados diretamente aos animais confinados, como o bem estar animal, redução dos problemas de cascos e jarretes, vida reprodutiva e infecções de glândulas mamárias. No entanto, pouco se sabe sobre os efeitos da utilização dos dejetos gerados por este sistema nos parâmetros físicos e químicos dos solos agrícolas.

Os dejetos de confinamento de gado tratados em esterqueiras podem ser muito benéficos para a qualidade do solo agrícola, pois aumentam o teor de matéria orgânica do solo (assim, melhorando a porosidade, aeração, capacidade de retenção de água, estabilidade estrutural e disponibilidade de nutrientes) e estimulam a atividade microbiana e a biomassa, aumentando assim o rendimento da cultura (DAS et al., 2017; HERNÁNDEZ et al., 2016).

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo avaliar as possíveis alterações na qualidade física e química do solo após a aplicação da cama do sistema *Compost Barn* em áreas agrícolas com mesmo manejo e cultivo em diferentes escalas de anos de distribuição dos dejetos.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 A PECUÁRIA LEITEIRA NO BRASIL

A pecuária brasileira teve seu início em 1532 quando Martim Afonso de Souza desembarcou os primeiros 32 bovinos de raça européia na Capitania de São Vicente. Já o primeiro registro histórico de uma ordenha foi realizado no ano de 1641 em uma fazenda próxima a Recife (VILELA et al., 2017).

De acordo com Silva et al. (2012), os bovinos tanto de raças européias (*Bos taurus*) como de raças zebuínas (*Bos indicus*) foram trazidos pelos colonizadores da Península Ibérica e das ilhas de Cabo Verde e distribuídos pelas Capitánias hereditárias. Os animais inicialmente criados nas regiões litorâneas foram sendo levados para o interior, onde contribuíram para o desenvolvimento de cidades sendo muito utilizados para o transporte de cargas através dos carros de bois.

A produção de leite no Brasil ficou insignificante por quase três séculos, mas com a decadência do café, em meados de 1870, o cenário político favoreceu o desenvolvimento agrário e permitiu a modernização das fazendas o que favoreceu a pecuária. Mas, de acordo com Vilela, et al. (2017) o primeiro marco de organização da produção leiteira somente aconteceu em 1952, quando o então presidente Getúlio Vargas assinou o decreto que aprovava o Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal. Este decreto, tornou obrigatória a pasteurização do leite e instituiu a sua classificação em tipos A, B e C conforme as condições sanitárias durante a ordenha, processamento, comercialização e contagem bacteriana.

Os primeiros registros sobre a produção de leite brasileira são do ano de 1961, onde se produzia 5,2 milhões de litros sendo distribuída por todo o território nacional. Atualmente, o leite de vaca no Brasil é produzido por pequenos e grandes produtores, gerando emprego e renda em todas as suas fases de produção (VILELA et al., 2017).

De acordo com Assis, et al. (2005), a produção de leite de vaca no Brasil apresenta duas importantes características: é realizada em toda a extensão territorial e possui grande variabilidade dos sistemas de produção praticado. O padrão racial e o manejo alimentar são variáveis importantes na caracterização destes modelos de produção. A maioria do rebanho leiteiro é formado por animais

de raças mestiças Holandês e Zebu. No entanto, produtores mais especializados utilizam animais puros das raças taurinas especializadas para a produção de leite como o Holandês, Jersey e Pardo Suíço ou zebuínas como o Gir e o Guzerá.

A tipificação dos sistemas de produção estabelecido pela EMBRAPA conforme Assis, et al. (2005) leva em consideração a produção de leite e as tecnologias adotadas nesta prática, sendo então definidos quatro tipos de sistemas de produção:

- Extensivo: a produção média de leite é de 1.200 litros por vaca/ano e sua alimentação é baseada em pasto com suplementação apenas por sal comum. São vacas de raça com alto grau de sangue zebuíno que são ordenhadas apenas uma vez por dia e os bezerros são mantidos ao pé. Apresenta o menor grau de tecnificação e a menor produtividade e qualidade do leite. Este é o sistema adotado pela maioria dos produtores brasileiros;
- Semi-extensivo: a produção varia entre 1.200 e 2.000 litros por vaca/ano. É caracterizado pela alimentação das vacas à pasto com complementação volumosa e energética em períodos de menor crescimento das pastagens naturais. Os bezerros são separados das vacas e pode ocorrer aleitamento artificial. A infraestrutura é simples, mas composta por sala de ordenha e resfriamento artificial do leite. Geralmente adotado por pequena porcentagem dos produtores, mas a produção é representativa.
- Semi-intensivo a pasto: a produção varia de 2.000 a 4.500 litros por vaca/ano. A alimentação das vacas é feita a base de forrageiras com alto potencial nutritivo e complementação com volumoso durante todo o ano ou em períodos de menor oferta de forragem fresca além de fornecimento de alimento energético industrializado conforme a produção. As pastagens são implantadas, adubadas e irrigadas quando necessário. As vacas são de raça meio sangue ou puras de origem taurina, são ordenhadas duas vezes ao dia e os bezerros separados após o nascimento. É predominante nas regiões sul e sudeste, as maiores produtoras de leite do país.
- Sistema intensivo em confinamento: as vacas deste sistema de produção possuem produção superior a 4.500 litros vaca/ano. Os animais são mantidos estabulados total ou parcialmente e a alimentação é fornecida exclusivamente no cocho, sendo composta por forrageiras secas ou frescas de alto padrão nutritivo e também alimentação energética para todas as categorias. O rebanho é formado por animais puros de origem de raça taurina e dependendo da produção as vacas são

ordenhadas três vezes ao dia. Este sistema se aplica nas regiões sul e sudeste, sendo o mais tecnificado e por isso não é tão comum entre os produtores.

De acordo com Leite, (2020), a produção de leite é uma atividade praticada em todo o território, mas que apresenta grande heterogeneidade quanto ao tamanho do empreendimento, tipo e nível de intensificação do sistema produtivo, perfil do produtor, produtividade, forma e estrutura de acesso ao mercado e aos insumos. No ano de 2019, o Brasil se tornou o quarto maior produtor de leite de vaca do mundo atingindo uma marca de 34 bilhões de litros produzidos.

Apesar da posição de destaque no cenário mundial, a produtividade do rebanho brasileiro ainda é muito baixa, pois temos um grande número de produtores com média de produção diária inferior a 20 litros por vaca. Os dados obtidos através do Censo Agropecuário do ano de 2017 demonstram que o Brasil apresenta uma grande heterogeneidade na produção do leite, onde existe uma grande quantidade de produtores com baixa produtividade. Essas informações remetem ao sistema de produção adotado pela maioria dos produtores com baixa tecnologia e baixa produtividade (IBGE, 2017).

No entanto, em estudo realizado por Leite (2020) que comparou publicações do IBGE do ano de 2006 com as informações do Censo Agropecuário de 2017 pode-se observar que está ocorrendo uma redução do número de pequenos e médios produtores e também se observa a modernização e a profissionalização da produção amparada nos pilares do uso intensivo de insumos e o aumento da escala de produção, aumento da produtividade total e otimização dos recursos disponíveis para a sustentabilidade do negócio.

A profissionalização do setor leiteiro fica evidente quando Leite (2020) compara o tamanho do rebanho leiteiro que em 2006 era de 12,7 milhões de vacas ordenhadas por dia com uma produção média anual de 1,6 mil litros de leite por vaca/ano para 12 milhões de vacas em 2017 com uma produção média de 2,6 mil litros vaca/ano.

Apesar do acréscimo da produção de leite de vaca no Brasil nos últimos anos devido ao aumento da profissionalização do setor, ainda existe um grande *déficit* na produção de matéria prima para o setor lácteo, sendo que em 2020 o país importou 171,7 toneladas, um aumento de 23,2% em relação ao ano de 2019. O principal produto importado foi o leite em pó com um aumento de 32,9% em relação ao ano anterior. As exportações de produtos lácteos também tiveram um aumento de

23,3%, sendo comercializado para outros países um total de 28,9 mil toneladas, principalmente de leite em pó, o leite UHT e queijos (HONIGMANN, 2021).

2.2 PECUÁRIA INTENSIVA E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

A atividade pecuária no Brasil está se tornando cada vez mais uma atividade empresarial, deixando de lado o extrativismo do modelo de criação extensivo e aproximando-se, dependendo da região brasileira, do modelo de intensificação total da produção. Esse processo está acontecendo, de acordo com Euclides Filho, (2004), com o objetivo de aumentar a rentabilidade em sistemas de produção de alimentos, onde foi necessário aumentar as densidades populacionais nas unidades produtoras, como é o caso dos confinamentos de bovinos destinados à produção de carne e de leite.

A criação intensiva, segundo Burgui (2001) passou a ser vista como uma ferramenta estratégica para os pecuaristas que almejam ganhar em escala no seu sistema de produção e agregar qualidade em seus produtos, além de aumentar a produtividade da propriedade. Uma das consequências da intensificação da criação de animais é a concentração dos resíduos gerados em pequenas áreas, ocasionando e agravando problemas ambientais.

Espaços físicos reduzidos para a deposição dos resíduos aumentam as emissões de dióxido de carbono e de metano, causam a eutrofização da água e a poluição do solo, afetando a qualidade de vida de modo geral (BURGUI, 2001).

Quando se trata de destinação dos dejetos provenientes da criação de animais, Saganfredo (2001) destaca que a primeira opção de destinar estes resíduos é através da sua utilização como fertilizante agrícola e o problema estará resolvido. No entanto, a utilização de dejetos animais como forma de reposição de nutrientes no solo necessita que seja levado em conta o tipo de dejetos e as quantidades que deverão ser destinadas, as características do solo e a capacidade de exportação de nutrientes pelas plantas.

De acordo com Gatiboni e Nicoloso (2019) os dejetos oriundos da criação das diversas espécies de animais devem ser considerados como um subproduto e que devem ser eficientemente reciclados dentro da cadeia produtiva. A reutilização racional dos dejetos para a fertilização do solo deve ser tratada como uma necessidade básica dentro do sistema de produção. Dessa forma, as aplicações

como fertilizante devem ser realizadas sob rigorosos preceitos técnicos, já que é comum ocorrerem aplicações com dosagens excessivas, as quais acarretam em poluição ambiental.

Em áreas de produção intensiva de animais as quantidades de dejetos produzidas excedem a necessidade de fertilizante para o solo alterando o equilíbrio entre as quantidades disponíveis e a capacidade de adsorção do solo. Seganfredo (2020) afirma que a consequência das excessivas taxas de adição de dejetos no solo torna progressivamente menor a sua taxa de adsorção.

A composição dos dejetos, de acordo com Gatiboni e Nicoloso (2019) variam de acordo com a origem, a categoria animal, dieta e manejo dos dejetos e o teor de umidade. Além destes fatores, a utilização dos dejetos como fertilizantes ainda apresentam a dificuldade de ajuste de dosagem conforme a necessidade da cultura agrícola, pois a proporção entre os nutrientes presentes nos dejetos nem sempre coincide com a demanda da cultura. Enquanto que em fertilizantes industrializados são encontradas dezenas de formulações com diversas concentrações e proporções entre nutrientes.

Os dejetos animais apresentam ao mesmo tempo, diversos nutrientes em variedades desproporcionais em relação àquelas necessárias para o ótimo desenvolvimento das culturas, destacando-se o fósforo (P), cobre (Cu) e zinco (Zn). Existe a necessidade de considerar simultaneamente o potencial de fornecer nutrientes para as plantas e o grau de risco que esses resíduos representam ao ambiente (SEGANFREDO, 2020).

Apesar da dificuldade pelo não balanceamento dos teores de nutrientes, esse efeito pode ser minimizado através da complementação com a utilização de fertilizantes industriais ou através da rotação de culturas. No entanto, existe o excesso de alguns nutrientes devido a disponibilidade via solo que já é suficiente para a alta produtividade como é o caso do zinco e do cobre (BERWANGER et al., 2008).

O fósforo (P) é um elemento químico presente nos dejetos e que apresenta importância nutricional para as plantas e para a biota quando as reservas naturais do solo são deficientes, mas pode ser um poluente quando é transferido aos mananciais de água superficiais ou subsuperficiais. O fósforo é um elemento com uma dinâmica muito complexa e envolve processos de imobilização-mineralização, adsorção-dessorção e precipitação-solubilização.

Em solos tropicais e subtropicais o fosfato é encontrado adsorvido com alta energia de ligação e conseqüentemente há pouco P disponível. A retenção de fosfato, de acordo com Berwanger, et al. (2008) ocorre pelo mecanismo de troca de ligantes, saturando os sítios de adsorção com maior avidéz pelo íon fosfato. A conseqüência deste processo é a diminuição da capacidade máxima de adsorção de P e mais íons fosfato são adsorvidos com menor energia de ligação, aumentando sua concentração na solução do solo. As aplicações frequentes e em dosagens superiores a aquelas perdidas através das colheitas e pelo processo erosivo fazem com que haja aumento da biodisponibilidade de P a ponto de ultrapassar os limites toleráveis pelo ambiente. Este problema pode se agravar se houver conectividade do fosforo aplicado nas áreas agrícolas com os corpos hídricos.

Quando quantidades excessivas de fosforo entram em contato com os corpos hídricos, pode ocasionar uma rápida proliferação das algas tornando-a imprópria para seus principais usos, sendo este processo denominado de eutrofização das águas (GATIBONI e NICOLOSO, 2019).

Os dejetos quando dispostos sem tratamento adequado podem provocar ou agravar problemas ambientais como a contaminação do lençol freático, acúmulo de elementos tóxicos, salinização, impermeabilização, desequilíbrio dos nutrientes no solo e contaminação das culturas por meio da transmissão de patógenos e parasitas. Pode também ocorrer a proliferação de insetos e de linhagens de bactérias resistentes a antibióticos (CARDOSO et al, 2015).

Quando os dejetos sem um tratamento adequado são utilizados para adubação de pastagens podem também possibilitar a continuidade do ciclo biológico de nematódeos gastrointestinais aumentando o potencial de contaminação e colocando em risco a saúde dos animais (AMARAL et al., 2004).

Conforme Amorim (2005) a grande quantidade de resíduos gerados pelos animais, na maioria das vezes, não recebem nenhum tipo de tratamento ou manejo que reduzam seus impactos no meio ambiente, sendo os mesmos utilizados ou dispostos causando graves problemas com prejuízos incalculáveis. Estes mesmos dejetos, quando tratados e reciclados adequadamente, deixam de ser poluentes e passam a constituir valiosos insumos para um modelo de produção agrícola sustentável.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS DEJETOS ORIUNDOS DA BOVINOCULTURA DE LEITE

Os dejetos oriundos da bovinocultura de leite, segundo Manso (2007), são constituídos de fezes, urina, água desperdiçada dos bebedouros e também a água da higienização das instalações, bem como restos de alimentos servidos aos animais.

Os sistemas de criação animal em confinamentos e suas variações de regimes intensivos dos rebanhos constituem uma forma de criação em que os animais ficam organizados em áreas menores para alimentação e convívio, não sendo soltos em pastagens à campo aberto. Esta condição pode acelerar a produção. No entanto, este sistema apresenta como consequência uma maior produção de resíduos em relação à área, havendo a necessidade de um correto tratamento deste material.

No sistema de produção intensivo, a quantidade total de dejetos produzidos por vacas leiteiras varia de 9 a 12% do peso vivo do rebanho por dia, dependendo da quantidade de água utilizada para a higienização das instalações e equipamentos utilizados na atividade (CAMPOS et al., 2002). A composição dos dejetos pode ser afetada por diversos fatores como a quantidade e composição da matéria seca fornecida para os animais, digestibilidade e sua concentração de nutrientes, raça e idade do animal, condições climáticas e sistema de manejo.

Caso não seja realizado o devido tratamento, a infiltração de água contaminada com resíduo, a poluição dos lençóis freáticos e a consequente eutrofização dos recursos hídricos se torna um problema à saúde humana, vegetal e animal. O resíduo, mesmo após passar pelo sistema de tratamento, segundo Franco et al. (2006), não deve ser aplicado a campo em doses e quantidades maiores que a capacidade do solo em absorvê-lo.

O manejo inadequado dos dejetos ou sistemas de tratamento mal dimensionados ou não funcionais gera forte odor devido aos gases oriundos dos estágios intermediários da decomposição anaeróbia, principalmente amônia, dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e metano, tornando-se um problema.

Sistemas de tratamento ineficientes ainda possibilitam o desenvolvimento de vetores que podem transmitir agentes biológicos patogênicos como enterocolites e enfermidades intestinais em geral (KLEIN et al., 2010).

2.4 TRATAMENTO DOS DEJETOS POR COMPOSTAGEM

De acordo com Orrico Junior, et al. (2012), existem diversas formas para realizar o tratamento dos dejetos produzidos pela bovinocultura, sendo que o mais utilizado, principalmente para o tratamento dos resíduos da bovinocultura de corte é a compostagem. Nesta técnica, as principais vantagens observadas são a redução de massa, volume, micro-organismos patogênicos e também a produção de um produto final com características fertilizantes que podem ser aproveitadas na agricultura.

O processo de compostagem apresenta como função a devolução ao solo dos minerais e matéria orgânica retirados dele, desempenhando desta forma um importante tratamento mantenedor das características nutritivas, orgânicas e também estruturais do solo (BARREIRA, 2005).

A compostagem é considerada um dos métodos mais antigos para reciclagem, sendo considerada uma solução para o tratamento e o manejo de resíduos sólidos, garantindo o retorno da matéria orgânica e dos nutrientes ao seu local de origem, em forma estabilizada que agrega valor nutricional e de fertilidade (CALLEJA-CERVANTES et al., 2015). Para o processo de compostagem podem ser utilizados tanto resíduos de origem animal quanto vegetal, sendo divididos em dois tipos: aqueles ricos em carbono, onde a degradação é mais lenta e ocorre fornecimento de energia para o processo; e os materiais ricos em nitrogênio, que possuem a degradação rápida e determinam a velocidade do processo, sendo este componente necessário para que ocorra o crescimento dos micro-organismos.

A compostagem considerada como um processo aeróbio controlado de bio-oxidação da matéria orgânica, onde diferentes substratos biodegradáveis sofrem ação de micro-organismos que se encontram naturalmente associados a estes resíduos. Durante o processo de compostagem ocorre uma fase termofílica em que há possibilidade de eliminação de substâncias fitotóxicas, fazendo a biomassa passar pelo processo de mineralização e humificação parciais, originando um produto final estável, homogêneo e higienizado (CALLEJA-CERVANTES et al., 2015).

Para a realização do processo de compostagem, os resíduos devem ser amontoados em pilhas ou leiras com uma altura mínima de 0,8 metros, pois abaixo disso de acordo com Valente, et al. (2009) não ocorrem condições adequadas para

formação e manutenção de temperatura para que ocorra adequadamente a compostagem.

2.5 SISTEMA COMPOST BARN

A criação intensiva de bovinos leiteiros é uma prática comum em países como os Estados Unidos, Israel e Japão, onde devido a áreas limitadas, valorização de áreas próximas às cidades, potencial limitado e estacionalidade das pastagens levou a utilização e popularização deste sistema de criação (MOTA et al., 2017). A estabulação parcial dos animais é um costume de regiões com invernos rigorosos onde a neve impossibilita o pastejo natural e os animais ficavam protegidos em celeiros juntamente com a produção agrícola.

Segundo Mota, et al. (2017) a partir da década de 1940 se intensificou a manutenção dos rebanhos em estábulos surgindo a partir de então os diversos tipos de confinamento para bovinos leiteiros:

- *Tie stall*: neste sistema os animais são mantidos presos em baias individuais, recebendo a alimentação exclusivamente em cochos. Sua movimentação acontece apenas para seguirem até a sala de ordenha o que aumenta o nível de estresse entre os animais. É um sistema empregado para rebanhos menores e com emprego da mão de obra familiar;
- *Free stall*: os animais ficam soltos em uma área cercada, sendo dividida em uma área com baias individuais para o descanso, sendo estas forradas por colchões de areia ou borracha triturada. A outra área é destinada para a alimentação e a prática de exercícios. Pelo fato das vacas ficarem soltas no confinamento e poderem se movimentar pela instalação o nível de estresse é reduzido e pode ser utilizado para um grande número de animais;
- *Loose housing*: neste sistema existe uma área de descanso coletivo para os animais, podendo estar localizado em área coberta ou ao ar livre. Este espaço é forrado por uma cama seca e macia que confere muito conforto e bem estar aos animais.
- *Compost Barn*: surgiu como uma mistura entre o *Free Stall* e o *Loose Housing*, como uma forma de proporcionar uma melhora no conforto e bem estar do animais, garantindo dessa forma uma melhor produtividade e redução nos custos para implantação dos estábulos.

O Sistema *Compost Barn*, inicialmente chamado de *Compost Bedded Pack*, surgiu nos Estados Unidos por volta de 1980 no estado da Virginia como uma alternativa para os problemas observados no conhecido sistema de confinamento de rebanho leiteiro *Free Stall* (BEWLEY et al., 2017). No entanto, sua implantação mais efetiva se deu no final de 2001, pelos irmãos Tom e Mark Portner de *Sleepy Eye*, em Minnesota nos Estados Unidos onde após utilizarem os sistemas *Tie Stall* e *Free-Stall* verificaram que estes não eram apropriados para abrigar uma grande quantidade de vacas em sistema intensivo, pois o custo de instalação era bastante elevado e também o bem estar animal não era levado em conta, causando estresse aos animais e conseqüentemente a redução da produtividade e qualidade do leite produzido. Além dos graves problemas de casco e jarrete que normalmente ocorriam no rebanho (SIQUEIRA, 2013).

Os primeiros galpões construídos para este novo sistema de confinamento apresentavam dimensões semelhantes aos *Free Stall*, pois em caso de insucesso poderiam ser adaptados ao mais conhecido modelo de confinamento da época (JANNI et al., 2007). Como os animais permanecem soltos dentro do barracão existe um menor custo de implantação e os animais ficam menos estressados e aumentam seu potencial produtivo devido a maiores índices reprodutivos e maior sanidade do rebanho. Devido a estas condições, este sistema foi se tornando conhecido e se espalhou por vários estados norte americanos e vários países do mundo.

No Brasil, este sistema chegou ao estado de São Paulo em 2012, onde foi implantado na fazenda Santa Andrea com a fama de ser um sistema de confinamento de baixos custos para implantação. No entanto, os galpões devidamente projetados e com sistemas de ventilação adequados fazem com que o custo seja similar ao confinamento *Free Stall*. Outra questão também está relacionado ao manejo inadequado, o qual fez com que muitos produtores brasileiros se frustrassem com este modelo (LEITE INTEGRAL, 2012). Na região sul do Brasil, este sistema têm ganhado mais adeptos e melhor funcionalidade devido a profissionalização da atividade leiteira.

Para a implantação deste sistema, algumas condições devem ser observadas já no momento da escolha da área para a construção do galpão: deve ser um local de fácil acesso, possuir uma área de circulação de no mínimo 5 metros ao redor da construção e um adequado escoamento das águas das chuvas para evitar a entrada de umidade na cama.

De acordo com Janni, et al. (2007), o clima da região tem grande influência no dimensionamento da construção, sendo que em regiões de clima úmido é necessário aumentar a área da cama, pois existe uma maior dificuldade em manter a umidade entre os níveis recomendados de 40 a 60%. As áreas de alimentação e fornecimento de água não sofrem influências climáticas.

O galpão deve ser construído com orientação que facilite a ventilação natural e a instalação dos ventiladores, segundo os mesmos autores, deve ser no sentido das correntes de ar. Em casos de galpões abertos a orientação mais indicada é a leste-oeste, no sentido da cumeeira do telhado, evitando a radiação solar direta nos animais nas horas mais quentes do dia o que gera o estresse térmico e o maior consumo de energia para a ventilação artificial. Em casos de galpões fechados com sistema de ventilação cruzada ou túnel de vento a orientação não é tão relevante, pois as laterais do galpão são fechadas por lonas. A sala de ordenha, resfriamento do leite, farmácia e escritório devem ser construídas em anexo ao galpão de alojamento das vacas para facilitar o trabalho (CALDATO, 2019).

O Brasil por apresentar temperaturas mais elevadas em comparação ao centro de origem deste sistema necessita de um maior controle de temperatura dentro do barracão, pois as vacas mais utilizadas para a produção de leite são de raças europeias que são mais sensíveis a temperaturas elevadas. Por esta razão, o sistema de ventilação devem ser muito bem projetados, sendo mais comum a utilização de ventiladores e de ventiladores com aspersores. Além de reduzirem a temperatura no interior do barracão, os ventiladores são importantes para a secagem das camas.

Além destes aspectos, antes da implantação deste sistema é importante pensar no material a ser utilizado para a cama, pois é necessário que estejam a disposição e tenham custo acessível. É mais comum a utilização de serragem de madeira, maravalha ou a serragem fina. Pode ser utilizado também restos culturais como palhas de arroz, café e trigo, cascas de amendoim, bagaço de cana e outros. Para que ocorra o processo de fermentação adequado na cama é sempre importante, mesmo com a utilização de outros materiais se incorporar a serragem de madeira, para se ter mais carbono na mistura.

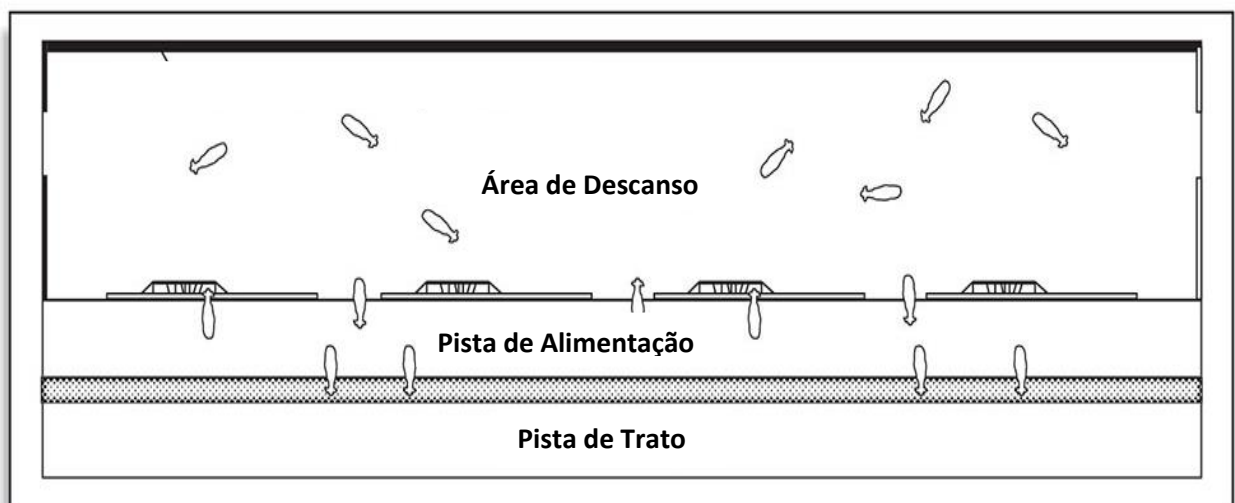
O diferencial do Sistema *Compost Barn* em relação aos demais tipos de confinamento, é que as vacas ficam soltas, se movimentando livremente no barracão. A maior parte do dia permanecem na área de cama. Cabe destacar que a

base desta cama pode ser de piso concretado ou terra batida forrada por material vegetal (restos culturais e ou serragem de madeira). Devido às condições climáticas brasileiras, é recomendado 15m^2 de cama por vaca em lactação, para que todas possam se deitar ao mesmo tempo na área de descanso e que a mesma tenha os teores de umidade adequados devido à deposição de fezes e urina no local.

Para as vacas que não estão em produção (vaca seca) o tamanho da cama pode ser reduzido para 12m^2 , enquanto que para vacas no pré-parto esta área deve ser aumentada para deixar o animal mais confortável evitando níveis elevados de estresse. Para novilhas com peso de até 350 Kg é recomendável uma cama de no mínimo 8m^2 por animal.

A área de cama é ampla dentro do galpão e pode ser disposta em apenas um dos lados do barracão (Figura 1) ou em ambas as laterais, sendo divididas pela pista de alimentação e pela pista de trato. A pista de alimentação, de acordo com Ogejo, (2018) deve apresentar uma largura mínima de 4,2 metros. Deve ser de piso concretado, pois cerca de 20 a 25% das fezes e urina ficam retidos neste local, sendo importante para a manutenção do teor de umidade adequado na área de cama (BARBERG et al., 2007). Este local deve apresentar inclinação de 0,5% no sentido do fosso quando a limpeza for realizada através de raspagem ou de 1% quando utilizado o *flushing* (lavagem).

Figura 1- Layout de um galpão de confinamento *Compost Barn*.



Fonte: Adaptado de Tyson (2013).

Paralela à pista de alimentação é construída a pista de trato que deve ser de piso concretado. Neste local é que ocorre a oferta de alimento para os animais. Deve possuir uma largura mínima de 4,5 metros, para facilitar o tráfego de tratores e vagões carregados de alimentos.

O fornecimento de água para os animais deve ser em bebedouros localizados fora da área da cama, geralmente na área de alimentação (BEWLEY et al., 2013). O comprimento dos bebedouros deve seguir a recomendação dos mesmos autores, de 6 cm lineares por vaca em lactação. A profundidade dos bebedouros deve ser de 20 cm de modo a facilitar a limpeza, que deve ser constante. O consumo de água é influenciado pela produção de leite, sendo que uma vaca necessita de 4 a 5 litros de água por quilo de leite produzido.

Os comedouros são projetados de forma a evitar a dominância de alguns animais, sendo que em estudos realizados por DeVries (2019) o local de fornecimento de alimento deve ter 76 cm por vaca lactante ou seca. Para os períodos de pré e pós parto os comedouros devem ter 1 m linear por animal e para as novilhas de até 350 kg 40 cm por animal. Os comedouros devem ser concretados.

Como existe a deposição de dejetos na pista de alimentação, existe a necessidade de construção de estrutura para tratamento dos mesmos, no entanto em dimensões reduzidas, pois a maior parte das fezes e urina fica na área da cama. A fossa de menor tamanho deve ser construída em anexo ao galpão e possuir conexão com a esterqueira, que deve ter capacidade de armazenamento dos dejetos gerados em 60 dias. A esterqueira deve ser localizada a 50 m de distância do galpão e 200 m de residências para evitar mau cheiro e transtornos devido a proliferação das moscas (FREITAS, 2008).

Além dos aspectos construtivos, o manejo da cama merece atenção do produtor devido ao correto dimensionamento, pois o manejo adequado é fator essencial para o sucesso deste tipo de confinamento. A cama funciona como uma pilha de compostagem e por isso o material que será utilizado não pode ser somente de um tipo de granulometria, se for muito fino vai ocorrer a compactação com maior facilidade o que vai reduzir a aeração da massa e conseqüentemente a redução da atividade microbiana. Se a granulometria for muito grossa, a aeração da massa vai ser abundante o que vai acelerar o processo de compostagem. Os materiais que formam a cama servem de substrato para os microrganismos realizarem a

degradação das fezes e urina. Por este motivo devem ser ricos em lignina para resistirem por mais tempo a degradação demorando mais para serem compostados (JANNI et al., 2007).

Segundo os mesmos autores, a cama deve ter uma espessura inicial de 40 a 50 cm, sendo adicionadas camadas de 10 a 20 cm a cada 5 semanas ou quando a cama estiver com umidade elevada devendo ser trocada após um período de 6 a 12 meses. Para que a cama do confinamento tenha sucesso é necessário observar as condições ideais para o processo de compostagem.

A compostagem, de acordo com Black (2013), é um processo de estabilização de resíduos, que exigem condições especiais de umidade e aeração para produzir temperaturas termofílicas. A elevação da temperatura acima de 45°C é o principal mecanismo responsável pela inativação de patógenos, porém, quando a temperatura da cama atinge níveis entre 55 e 65°C ocorre a eliminação de agentes causadores da mamite, que é a inflamação das glândulas mamárias. Esta temperatura deve ser encontrada a 30 cm de profundidade na cama.

Para que ocorra a compostagem aeróbica, o teor de umidade da cama deve estar entre 40 e 60%, sendo este teor muito influenciado pela temperatura e umidade relativa do ar. Em dias de temperatura mais elevada, a umidade relativa do ar é mais baixa e em dias frios a umidade relativa do ar é maior (ALBINO et al., 2017). Se a cama estiver muito úmida, alguns aspectos precisam ser averiguados e corrigidos, sendo a entrada de água das chuvas, vazamento nos bebedouros de água ou dejetos acumulados na pista de alimentação.

Assim como numa pilha de compostagem, a relação carbono nitrogênio deve ser observada na cama do *Compost Barn*, sendo que Rosen, Halback e Mugaas. (2000) recomendam uma relação carbono: nitrogênio de 25:1 a 30:1. Quando existe uma grande quantidade de dejetos (matéria orgânica) se tem o excesso de nitrogênio e conseqüentemente um excesso de umidade na cama, isso faz com que ocorra uma dificuldade no processo de aeração e compostagem levando a uma fermentação anaeróbia, que retarda a degradação dos materiais e causa odores desagradáveis. Em situações deste tipo, se deve aumentar a fonte de carbono na cama (adicionar serragem ou resíduos vegetais lignificados).

O manejo diário da cama consiste no seu revolvimento com o objetivo de incorporar os dejetos (fezes e urina) ao material utilizado para que ocorra o processo de compostagem. Janni, et al. (2007) recomenda o revolvimento da cama duas

vezes por dia numa profundidade de 25 a 30 cm, mas sempre se deve observar a umidade da cama e a umidade relativa do ar. Quando a cama estiver úmida e a umidade relativa do ar estiver baixa, se pode revolver até 4 vezes por dia, mas se a umidade relativa do ar estiver alta, deve-se revolver apenas 2 vezes e aumentar a ventilação do galpão para que o vento seque a cama. Este revolvimento é realizado quando os animais se encontram na ordenha ou na pista de alimentação evitando o estresse dos mesmos.

O revolvimento da cama é realizado com implementos como o escarificador acoplado a um trator. A profundidade revolvida deve ser de no máximo 30 cm e tem a finalidade de aerar e descompactar a massa. É normal a observação de vapor levantando da massa no momento do revolvimento, isso é sinal de que a compostagem está ocorrendo de maneira adequada. A troca da cama deve ser realizada quando a massa apresentar coloração escura mesmo em pequenas profundidades, o que significa que a compostagem está pronta para a utilização. Ao se fazer a troca da cama é importante manter uma pequena camada de cama para que ocorra a inoculação do novo material, acelerando o início do processo (JANNI et al., 2007). Também é recomendado fazer a troca da cama em períodos de temperaturas mais altas.

É recomendada a troca da cama quando não se observa mais as partículas originais da cama e o composto apresenta aspecto de turfa. Este material é rico em nutrientes e pode ser utilizado na agricultura, mas com certas restrições ao uso, principalmente aplicação em áreas próximos às nascentes e rios (BLACK et al., 2013).

A área de cama ou de descanso, além de servir como forma de tratamento dos dejetos, é de extrema importância para o bem estar dos animais. Uma vaca em lactação deve permanecer deitada por um período de 8 a 16 horas por dia. Quanto mais permanecerem em descanso, maior será o índice de conforto que está relacionado a sanidade e produção de leite. Endres e Barberg, (2007) em seus estudos realizados em fazendas de Minnesota (EUA) observaram que vacas alojadas em galpões de *Compost Barn* permanecem mais tempo deitadas e em posições naturais o que são indícios de bom conforto animal.

O conforto térmico também está diretamente ligado à produtividade das vacas, se o sistema de ventilação for devidamente projetado para o controle de temperatura as vacas ficarão menos estressadas. Na região sul do Brasil a maioria

das fazendas de produção de leite utiliza vacas de raças europeias, que necessitam de temperaturas mais baixas para o seu conforto térmico, então o aspecto de controle de temperatura deve ser muito bem planejado (CALDATO, 2019).

Uma das principais doenças que acometem vacas em lactação é a mastite ou mamite, sendo ela relacionada com a exposição a patógenos e a defesa do animal. Uma vaca que se encontra a um ambiente sujo é mais propensa a contaminação. Esta doença apresenta tratamento caro e nem sempre eficaz, reduz a produção do animal sendo uma das causas do descarte de vacas. No sistema *Compost Barn*, se a cama for manejada adequadamente, as úberes se mantem limpas e a elevação da temperatura devido ao processo natural de compostagem elimina os agentes causais destas doenças.

Em um estudo realizado por Costa et al. (2018) em fazendas produtoras de leite no estado do Paraná foi constatado que em confinamentos do *Compost Barn*, havia baixa incidência de vacas com joelhos inchados e feridas nos jarretes, enquanto que em confinamento *Free Stall* apresentam grande incidência de afecções podais. No *Compost Barn*, as vacas apresentam melhor saúde e longevidade, melhor desempenho reprodutivo e produtivo, pois não apresentam dores ao se locomoverem podendo realizar todos os movimentos que desejam, inclusive a manifestação natural do cio, se alimentam com mais frequência e bebem água mais vezes.

Além dos aspectos positivos sobre os animais, Black, et al. (2013) também cita como vantagens a melhoria da qualidade do ar, pois não há geração de odores devido à redução na produção de amônia e redução na população de moscas.

Portanto, a utilização do *Compost Barn* é segundo Eckelkamp (2014) uma forma de reduzir em 70 a 75% o volume de dejetos a serem enviados para a esterqueira, facilitando sua posterior destinação como adubação orgânica, sendo essa uma das vantagens de sua implantação. Damasceno (2012) afirma que a utilização do composto gera economia significativa na fertilização química das áreas agrícolas.

2.6 UTILIZAÇÃO DE DEJETOS COMO FERTILIZANTES E SUA INFLUÊNCIA NOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO

O manejo inadequado do solo devido a intensa mecanização, o monocultivo, o pastejo intensivo, utilização desenfreada de insumos químicos e também a destruição de áreas de preservação permanentes comprometem as condições físicas e ecológicas do solo, fazendo com que suas características naturais do sistema edáfico sejam alteradas e como consequência temos a degradação dos solos agricultáveis (OLIVEIRA et al., 2016).

A alteração da estrutura física do solo pode contribuir com a degradação do mesmo e levando a perdas de material mineral, água, matéria orgânica e nutrientes. A mudança nas condições físicas do solo, podem potencializar a erosão do solo que em determinados casos chega aos corpos hídricos. Este processo chama-se taxa de transferência de sedimentos, sendo um dos principais causadores da poluição dos corpos hídricos em áreas rurais (MELQUIADES et al., 2019)

A utilização de resíduos orgânicos, especialmente de dejetos animais como fertilizantes e condicionantes de solo é comum em regiões onde há suinocultura e confinamento de gado, pois apresentam uma excelente fonte de nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio. Estes dejetos aplicados adequadamente podem suprir parcial ou totalmente a necessidade nutricional para a produção de grãos e pastagens. No entanto, o uso incorreto ou em doses excessivas pode causar alterações químicas, físicas e biológicas que nem sempre garantem melhorias no solo, podendo ocasionar danos ambientais (KONZEN e ALVARENGA, 2005).

Os dejetos animais são considerados agronomicamente como fertilizantes não balanceados devido a dificuldade em realizar o ajuste entre as necessidades das plantas (quantitativa e temporalmente) e a oferta dos nutrientes (MORAES et al., 2014).

Esta dificuldade aliada à baixa concentração de nutrientes dos adubos orgânicos pode ser um fator limitante para a sua utilização em maiores escalas, principalmente pelo fato de que existe a necessidade de maiores volumes quando se compara com fertilizantes minerais para suprir a mesma quantidade de nutrientes.

Seganfredo (2020), afirma que o cálculo para recomendação da dosagem de qualquer dejetos como fertilizante sempre leva em conta os três principais macronutrientes (N, P e K) e isso leva ao excesso principalmente de micronutrientes

como é o caso do zinco e cobre. A concentração dos nutrientes presentes nos dejetos varia de acordo com a alimentação fornecida para os animais, forma de manejo e categoria animais, por isso existe uma grande dificuldade na utilização de doses adequadas que vão trazer benefícios para as plantas e para os parâmetros físicos, químicos e biológicos do solo.

Os esterco animais ou os compostos orgânicos, de acordo com Moraes, et al. (2014) são ricos em carbono orgânico lábil, que é rapidamente mineralizada no solo aumentando a disponibilidade de macro e micronutrientes no solo. A matéria orgânica presente nos dejetos aumenta a capacidade de troca catiônica e garante a melhoria na estrutura devido a redução da densidade do solo e aumento da porosidade e da taxa de infiltração de água.

Promove também a melhoria na distribuição do tamanho dos poros do solo facilitando o armazenamento de água no perfil, deixando as culturas menos susceptíveis ao estresse hídrico. De acordo com Oliveira et al. (2016), as propriedades físicas do solo alteradas pela matéria orgânica são: densidade aparente, estrutura, aeração, drenagem, retenção de água e consistência. A densidade aparente é um atributo que influencia na porosidade do solo, que por conseguinte pode interferir de forma direta na taxa de infiltração da água no solo

A matéria orgânica também age na estabilidade dos agregados, pois quando se encontra humificada no solo, a matéria orgânica juntamente com minerais de argila e óxidos de ferro e alumínio e polissacarídeos produzidos por fungos e bactérias atuam na estabilidade de pequenos macroagregados que também são estabilizados por hifas de fungos e raízes finas que formam uma rede que entremeia e os estabiliza fisicamente.

Alguns estudos indicam que a aplicação de dejetos animais (bovinos, suínos e de aves) apresentaram resultados tanto positivos (melhoria nos atributos físicos e químicos do solo) quanto negativos como a eutrofização do solo devido ao excesso de determinados nutrientes, além dos problemas causados nos cursos hídricos (MENG, DING e CAI, 2005; SIGUA et al., 2010; ASADA et al., 2012; ANTONELI et al., 2019).

Em experimentos conduzidos por um período superior a 10 anos com a utilização de dejetos de aves, suínos e bovinos aplicados com dosagens para suprir a necessidade de nitrogênio das culturas, Gatiboni e Nicoloso (2019) observaram que a utilização de dejetos trouxe resultados em produção semelhantes aos

tratamentos com a utilização de uréia como fonte de N. Quando compararam o uso de dejetos líquidos e composto de dejetos houve uma diferença significativa no teor de carbono, aumento da agregação, redução da densidade, elevação do pH e redução da saturação de alumínio em áreas com a utilização de composto.

A utilização de ambas as formas (líquida ou composto), promoveu um aumento da matéria orgânica e da CTC do solo em até 30 cm de profundidade, no entanto, devido ao cálculo de dosagem utilizado ser para atender a necessidade de N houve um aumento na concentração de nutrientes em níveis maiores do que os necessários para a cultura.

Os solos apresentam na sua constituição a mistura de partículas sólidas de origem mineral e orgânica, água e ar, formando o sistema trifásico: sólido, líquido e gasoso. As partículas sólidas apresentam enormes variações devido à forma, tamanho e composição química. Essas diversas configurações formam a chamada matriz do solo e também são responsáveis pela formação da porosidade do solo (REINERT e REICHERT, 2006).

A distribuição do tamanho das partículas que formam o solo, constituem a textura do solo e o arranjo destas partículas em agregados formando a estrutura do solo. De acordo com os mesmos autores, a porosidade dos solos é responsável por uma série de fenômenos e mecanismos de importância na física do solo como é o caso da retenção e fluxo de água e ar no interior da massa de solo.

De acordo com Pereira et al. (2013), a ação antrópica sobre o solo provoca diversas alterações nas suas propriedades físicas e químicas, devido ao manejo empregado o que causa perda, melhoramento ou manutenção destes atributos. Alterações das propriedades do solo, devido a intensidade do preparo do solo em regiões agrícolas, pode resultar na compactação do solo fazendo com que ocorra o aumento da resistência à penetração das raízes. Além de limitar a permeabilidade e disponibilidade de nutrientes, limitando assim o crescimento das plantas.

A porosidade do solo é definida por Megda et al. (2008) como sendo a maneira que as partículas do solo estão distribuídas, ou seja, quanto maior o afastamento destas maior será a porosidade do solo. Esta é uma propriedade física do solo que está relacionada com a alteração do volume, relacionado com a compactação. Os espaços que existem entre as partículas do solo são ocupados pela água e por ar e desempenham um importante papel no comportamento físico-

hídrico do solo propiciando ou impedindo o aproveitamento dos nutrientes disponíveis.

Nobrega, et al. (2015), complementam que os poros são o local onde circula a solução do solo, constituída por água e nutrientes nela dissolvidos e também ar. Os poros são classificados conforme o seu tamanho. Brady (1989) denomina como microporos aqueles com tamanho inferior a 0,08 mm e que apresentam a função de fazer a retenção de água e os macroporos com tamanho superior a 0,08 mm com a responsabilidade de fazer a drenagem e a aeração do solo

A densidade do solo, conforme Pereira et al (2013) expressa a relação entre a quantidade de massa de solo seco e o seu volume (com os poros) e está relacionada a sua estruturação. Um manejo incorreto leva a perda dessa estrutura ocasionando a compactação. Guariz et al. (2009), afirmam que a densidade do solo é um atributo que pode fornecer indicações sobre o seu estado de conservação, devido a sua influência em propriedades como infiltração e retenção de água no solo, desenvolvimento de raízes, trocas gasosas e suscetibilidade aos processos erosivos.

A desagregação do solo devido ao uso contínuo e excessivo de implementos agrícolas e tráfego de máquinas pode ocasionar a compactação que está diretamente ligada a densidade do solo. Desta forma, Rosa et al. (2019) afirma que a forma de preparo do solo deve ser planejado conforme as características do mesmo, evitando a formação de camadas compactadas especialmente na sua superfície.

A densidade é fortemente influenciada pela textura e pelo teor de matéria orgânica no solo, no entanto o manejo utilizado também a influencia (CORRECHEL; SILVA e TORMENA, 1999).

Os sistemas utilizados no preparo dos solos agrícolas, assim como o manejo empregado promovem modificações nas propriedades físicas do solo. Esta mudança pode restringir o crescimento radicular das culturas, ocasionando redução do potencial produtivo e ainda uma maior possibilidade de perdas de solo devido ao processo erosivo (TORMENA et al., 2002).

Já os parâmetros químicos de qualidade do solo, segundo Gomes e Filizola, (2006) possuem relevância tanto em aspectos agronômicos quanto ambientais, sendo classificados em classes distintas: a) aqueles que indicam os processos do solo ou seu comportamento (pH e carbono orgânico); b) aqueles que indicam a

capacidade do solo de resistir à troca de cátions (tipos de argila, CTC, CTA e óxidos de ferro e de alumínio); c) aqueles que indicam as necessidades nutricionais das plantas (N, P, K, Ca, Mg e micronutrientes) e; d) aqueles que indicam contaminação ou poluição (metais pesados, nitrato, fosfato e agrotóxicos).

O uso e manejo empregado no solo causa alterações nos indicadores químicos, especialmente as atividades agrícolas que aumentam a heterogeneidade das características do mesmo (CAMARGO, 2016).

Em estudo realizado por Silva, (2018) relativos aos efeitos da utilização de esterco bovino nos atributos químicos e físicos do solo, apontou-se que este dejetos apresenta um efeito residual no solo maior do que os fertilizantes industrializados, fornecendo nutrientes como o fósforo, cálcio, magnésio e potássio para as culturas por períodos mais longos. No entanto a sua ação sobre o pH do solo não é duradoura. Possui efeito também sobre os atributos físicos do solo devido ao fornecimento de matéria orgânica levando ao aumento do diâmetro médio dos agregados e na macroporosidade, e como consequência a diminuição na densidade do solo.

A utilização de dejetos líquidos, tanto de bovinos quanto de suínos trazem resultados semelhantes quanto ao aumento do pH, saturação por bases e CTC nas camadas superficiais do solo assim como para incrementar o nível de nutrientes no solo. O que difere entre o uso de esterco sólido e o líquido é o acúmulo de matéria orgânica no solo, sendo que os dejetos líquidos não incrementam os teores de carbono orgânico (ERTHAL et al., 2010).

A utilização de esterqueiras é a forma mais comum para o tratamento dos dejetos da bovinocultura de leite e apresenta diversos inconvenientes como a emissão de odores, lodo e efluentes com elevado potencial poluente, geração de gases de efeito estufa, além da necessidade de uma construção específica para o armazenamento dos dejetos e equipamento adequado para a sua distribuição nas áreas agrícolas (VALENTE. et al. 2014).

O uso de dejetos de aves em especial a cama dos aviários também se mostra um material rico em nutrientes e sua utilização tem sido associada à melhorias nos atributos físicos. Estas melhorias auxiliam na redução da erosão e aumento da retenção de água. O uso de dejetos também além da melhoria nos atributos químicos e biológicos do solo (PINTO et al., 2012).

A agregação é o principal atributo físico afetado pela utilização de fertilizantes orgânicos e afeta indiretamente a densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração de água. As alterações em atributos estruturais ocorrem de forma mais lenta quando o solo já apresenta uma boa estrutura, o incremento na agregação vai ocorrer devido a atividade biológica e que é menos evidente (AGNES e KLEIN, 2014).

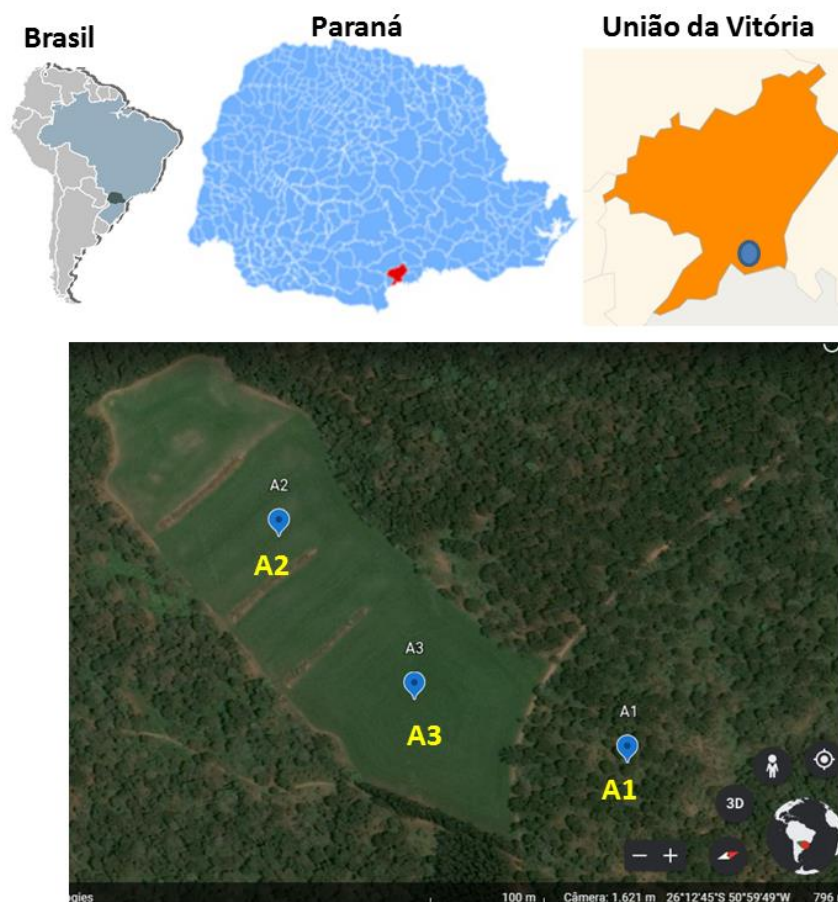
Portanto, o uso de dejetos como fertilizantes em áreas agrícolas têm sido utilizado em larga escala nas últimas décadas, no entanto, pouco se sabe sobre sua eficiência na melhoria das condições físicas e químicas do solo do uso dos dejetos bovinos gerados pelo *Compost Barn*.

3. METODOLOGIA

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado na Fazenda Três Gerações, localizada na Colônia Olindina, no município de União da Vitória, situada na região sul do estado do Paraná (Figura 2). De acordo com Nitsche, et al. (2019), o clima do município de acordo com a classificação de Köppen é o Cfb, caracterizado por apresentar clima temperado, com precipitações variando de 1.100 a 2.000mm, distribuídas uniformemente ao longo do ano. A média da temperatura do período mais quente é inferior aos 22°C, as geadas são frequentes num período de 10 a 25 dias por ano.

Figura 2 - Mapa de localização da propriedade estudada.



Fonte: Google Earth (2021).

Na área de estudos há um predomínio de solo do tipo Cambissolo, com alguns pontos de Neossolo e Organossolo. Nos pontos específicos de aplicação dos dejetos, o solo se caracteriza como Cambissolo Háplico.

De acordo com informações do último Censo Agropecuário, o município de União da Vitória, apresenta um rebanho de vacas leiteiras de 888 cabeças que se encontram em 181 estabelecimentos rurais. A produção de leite anual é de 3 milhões e 649 mil litros (IBGE, 2017).

A Fazenda Três Gerações apresenta sua economia oriunda da produção intensiva de leite, onde são confinadas 200 vacas, das quais 110 estão em lactação ou em período pré-parto e as demais são bezerras ou novilhas (Figura 3). Os animais de todas as categorias encontram-se estabulados no chamado Sistema *Compost Barn*, sendo que a implantação deste tipo de estabulação ocorreu no ano de 2014 e esta fazenda é considerada uma das pioneiras na adoção deste sistema no estado do Paraná. Além do pioneirismo no *Compost Barn* é a única fazenda a produzir leite tipo A no sul do país, devido a qualidade do leite produzido, sanidade e conforto dos animais.

Figura 3 - Área de alimentação e de descanso do rebanho.



Fonte: Autora (2021).

A fazenda apresenta uma área de 30 hectares, sendo esta área dividida entre a sede, barracões das instalações das vacas, agroindústria de lácteos (pasteurização e envase do leite, produção de queijos, iogurtes e outros derivados), tratamento de dejetos líquidos, área para preparo de alimentos, silos do tipo trincheira e também lavouras de cultivo de forrageiras (alfafa, *jiggs*, *tifton*, cevada,

aveia e azevém) e cereais como o milho. As áreas de lavoura totalizam 25 hectares e são cultivadas com o objetivo de colher forragem para alimentar os animais confinados. Estas forragens podem ser fornecidas frescas ou conservadas sob a forma de pré-secado ou silagem.

De acordo com Santos (2017), cada animal produz 50 litros de dejetos diariamente (fezes, urina e também água residuária de higienização das instalações e equipamentos), como são 200 animais estabulados, a produção diária de dejetos é de 10.000 litros. Como apenas $\frac{1}{4}$ do dia os animais passam na pista de alimentação e na sala de ordenha, a produção de dejetos líquidos é de 2.500 litros enquanto que 7.500 litros é incorporado e compostado na cama do *Compost Barn*.

A maior parte dos dejetos é tratada através do *Compost Barn*, a cama utilizada é formada por resíduos da indústria madeireira (serragem e maravalha) que é abundante no município e apresenta baixo custo para o produtor, e que permanece no galpão por um período de aproximadamente um ano, dependendo da umidade. A retirada da cama, geralmente ocorre no mês de outubro e aplicada nas áreas de lavoura onde é realizado o cultivo de milho para silagem.

A cama é revolvida de duas a três vezes por dia para haver o controle da umidade e a incorporação dos dejetos fazendo com que haja a aeração do material e ocorra a temperatura ideal para o controle de agentes patogênicos da cama. Esse revolvimento é realizado através de um trator e um escarificador no momento que as vacas estão na área de alimentação ou na sala de espera para a ordenha.

A aplicação do composto formado pelos dejetos e serragem que formavam a cama dos animais acontece antes da semeadura do milho e antes da semeadura da cultura de inverno, com o objetivo de adubar a área. Para a aplicação é utilizado um distribuidor de corretivos, pois o composto apresenta consistência solta o que permite sua aplicação com este equipamento.

Antes da semeadura do milho, as áreas de lavoura são escarificadas, gradeadas e recebem adubação orgânica. A aplicação de corretivos é realizada conforme a necessidade observada através da análise de solo.

Anualmente é produzida uma quantidade em torno de 226,40 toneladas de composto, sendo que esta quantidade é dividida para duas aplicações anuais nos 25 hectares de lavoura. A primeira aplicação é realizada após a colheita da cultura de inverno e a segunda aplicação após a colheita da cultura de verão. O

armazenamento do composto para a segunda aplicação é realizada em pilhas que são cobertas por lonas plásticas.

Conforme análise química do composto produzido na propriedade estudada apresentada por Santos (2017) onde são produzidos 12.753,50 kg de nitrogênio, 4.491,69 kg de fósforo e 11.026,22 kg de potássio por ano. Considerando a elevada necessidade de nutrientes pelas culturas cultivadas (milho, aveia, azevém e cevada) e também pela colheita total da massa verde das culturas para a produção de alimento para o rebanho a recomendação dada foi de 26,06 toneladas por hectare, sendo que a aplicação deveria ser realizada em duas vezes.

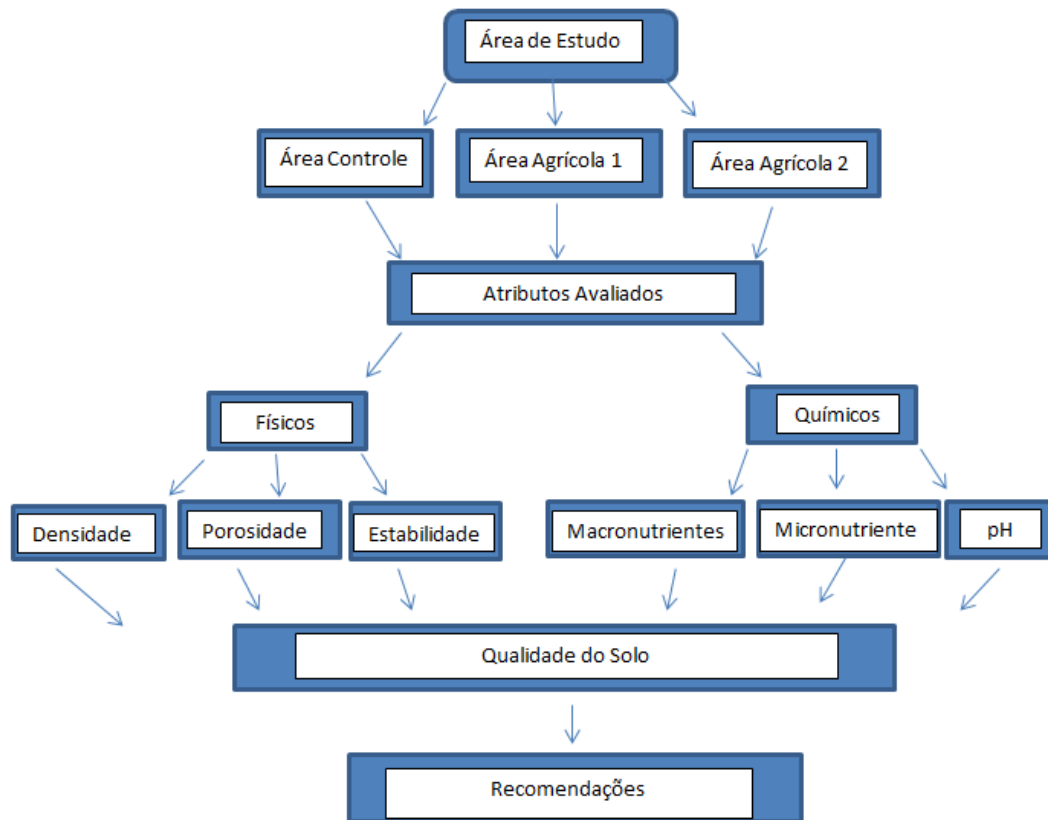
Os dejetos oriundos da área de alimentação, sala de espera e água de higienização da sala de ordenha são levados para dois biodigestores anaeróbicos onde passam por tratamento. O gás formado neste processo ainda não é utilizado, sendo lançado para a atmosfera e o biofertilizante produzido é armazenado para posteriormente ser levado para as áreas de cultivo de forragem por bombeamento e distribuídas através da fertirrigação por aspersão. Estas áreas são próximas ao confinamento e são utilizadas para o pastejo dos animais durante algumas horas por dia, geralmente no início da noite onde a temperatura fica mais amena.

3.2 ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Para atender os objetivos desta pesquisa, foram realizadas leituras e pesquisas bibliográficas sobre o tema, pois este é recente na literatura. Depois de um conhecimento mais detalhado do sistema *Compost Barn*, foram delimitadas as áreas para a coleta das amostras de solo.

Dentre as áreas de coleta de solo estão: área controle (A1) sendo uma área de floresta e sem adição dos dejetos; área 1 (A2) com um ano de aplicação de dejetos; área 2 (A3) com cinco anos de aplicação do composto. Após as coletas de dados, deu-se início ao trabalho de laboratório. O planejamento da pesquisa se encontra demonstrado na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma representativo do planejamento da pesquisa.



Fonte: Autora (2021).

Este estudo apresentou fases de atividades a campo, com as coletas de solos para análises de parâmetros físicos e químicos e posterior fase de laboratório, onde foram realizadas as análises físicas e químicas do solo. Também foi realizada coleta de amostras da cama que foram encaminhadas para laboratório especializado em análises de fertilizantes.

3.3 CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS DE COLETA DE SOLO

O trabalho visou analisar três situações distintas, sendo denominada de:

- A1: área com cultivo de erva mate com sombreamento de espécies florestais características da floresta ombrófila mista. Não é realizado revolvimento do solo, nem aplicação de fertilizantes ou corretivos;
- A2: área de lavoura com apenas dois anos de cultivo de plantas anuais após o corte raso de *Pinus sp.* Apenas um ano de aplicação de composto orgânico como fertilizante (2 aplicações de composto) e muito revolvimento do solo para a retirada

das raízes do *Pinus sp.* Cultivo de milho no verão e aveia, azevém ou cevada no inverno;

- A3: área de lavoura mais antiga, com 5 anos de utilização de composto orgânico como fertilizante (10 aplicações de composto). Cultivo de milho no verão e aveia, azevém ou cevada no inverno.

As características de cada área se encontram resumidas na Tabela 1 e ilustradas através da Figura 5.

Tabela 1 – Resumo das características das áreas de estudo.

Área	Características
Área controle (A1)	Com cobertura florestal nativa e extrativismo de erva mate sombreada. Sem aplicação de composto.
Área agrícola (A2)	Cultivo de milho no verão e aveia no inverno, com revolvimento do solo e um ano de aplicação de composto. Lavoura nova.
Área agrícola (A3)	Cultivo de milho no verão e aveia no inverno, com revolvimento do solo e cinco anos de aplicações de composto.

Fonte: Autora (2021).

As áreas A2 e A3 apresentam o mesmo manejo, sendo realizada a aplicação em área total do composto orgânico proveniente da cama das vacas. Esta distribuição é realizada através de um distribuidor de corretivos após a colheita da forragem de inverno e após a colheita da cultura de verão. O composto é incorporado ao solo através de gradagem ou se o solo estiver muito compactado devido ao tráfego de máquinas agrícolas, é realizada a subsolagem e posterior gradagem.

Figura 5. Áreas de estudo.



Fonte: Autora (2021).

Para a implantação do milho é utilizada adubação química granulada na base, mas com a redução de 30% da dose recomendada devido aos nutrientes fornecidos pelo composto e seguindo a recomendação técnica (SANTOS, 2017). É realizada a adubação de cobertura com nitrogênio. O milho é utilizado para produção de silagem de planta inteira, que serve como alimento volumoso para as vacas.

Após a colheita do milho é realizada uma nova aplicação, e sua incorporação ocorre juntamente com a semeadura da cultura de inverno. A aveia, azevém ou cevada são colhidos para a produção de pré-secado que é fornecido como alimento volumoso para o rebanho.

O armazenamento do composto para a segunda aplicação do ano é realizado em montes que ficam cobertos por lonas plásticas nas proximidades das lavouras.

A correção do solo é realizada periodicamente conforme a necessidade obtida através de análise de solo.

A cada colheita é retirada toda a vegetação, não ficando resíduos das plantas como cobertura para o solo, já que existe grande demanda de alimento volumoso para o rebanho que permanece estabulado na maior parte do tempo.

Existe grande tráfego de máquinas nas lavouras, seja para o preparo, implantação, manejo e para a colheita o que faz com que o solo tenha uma maior probabilidade de compactação, por isso existe a necessidade de intervenções com a subsolagem.

Para realização das análises, em cada uma das áreas em estudo foram abertas nove trincheiras (pontos de amostragem), sendo amostradas as profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm. A quantidade de amostras coletadas e os atributos analisados estão expressos na Tabela 2.

Tabela 2- Quantidade de amostras por parâmetro analisado.

Áreas				
Variáveis	A 1	A 2	A3	Total
Densidade aparente	36	36	36	84
Porosidade total	36	36	36	84
Estabilidade de agregados	36	36	36	84
Análise química	4	4	4	12

Fonte: Autora (2021).

As coletas de informações sobre as áreas foram realizadas no mês de janeiro de 2020, após a aplicação e incorporação do composto no solo e após a semeadura do milho nas duas áreas agrícolas.

3.4 ANÁLISE QUÍMICA (MACRO E MICRONUTRIENTES)

A coleta das amostras para realização da análise química foi realizada no mês de janeiro de 2020, seguindo a metodologia estabelecida pela Embrapa (1997).

Em cada uma das áreas de estudo foram coletadas sub-amostras nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 centímetros. Foram coletadas 10 sub-amostras em cada uma das três áreas estudadas, sendo estas acondicionadas em baldes plásticos, realizadas a homogeneização e posteriormente coletada uma amostra de aproximadamente 300 gramas que foi embalada, identificada e enviada para laboratório especializado.

Para cada profundidade foram coletadas 10 sub-amostras, após homogeneizadas formaram uma amostra portanto, para cada área em estudo foram enviadas 4 amostras de solo, sendo no total 12 análises realizadas (Tabela 2).

Como as três áreas estudadas apresentam diferenças na quantidade de composto aplicado (um sem aplicações, uma com 2 aplicações e outra com 10 aplicações) a realização da análise química se necessária para conhecer a contribuição do composto no fornecimento de nutrientes (macro e micronutrientes), matéria orgânica e pH para o solo e a sua dinâmica no perfil do solo através das quatro profundidades amostradas.

3.5 PARÂMETROS FÍSICOS

As análises físicas foram realizadas no laboratório de solos do departamento de Geografia da Universidade Estadual do Centro Oeste- UNICENTRO, Campus de Irati –PR.

3.5.1 Densidade do solo

Para determinar a densidade do solo, foi utilizado método de anel volumétrico descrito por Teixeira et al. (2017), onde é realizada a medição de um

volume conhecido de solo. Cabe destacar que a densidade está relacionada com a porosidade total e com a composição orgânica e mineralógica média do solo. Para a densidade do solo, foram estabelecidos nove pontos aleatórios de coleta em cada uma das áreas de estudo, com quatro profundidades diferentes de amostragem (0-5, 5-10, 10-20, 20-30).

Conforme Embrapa (1997), o anel volumétrico foi introduzido no solo onde o volume total do anel foi preenchido por solo (Figura 6). O solo foi cuidadosamente retirado e colocado em embalagens identificadas e levado para o laboratório, onde foram secados em estufa a uma temperatura de 105°C por um período de 24 horas.

Figura 6. Coleta de solo utilizando Anel Volumétrico.



Fonte: Autora (2021).

Depois de secas as amostras foram pesadas e aplicada a Equação 1:

$$D_s = \frac{M_s}{V} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

D_s = Densidade do solo (g/cm^3);

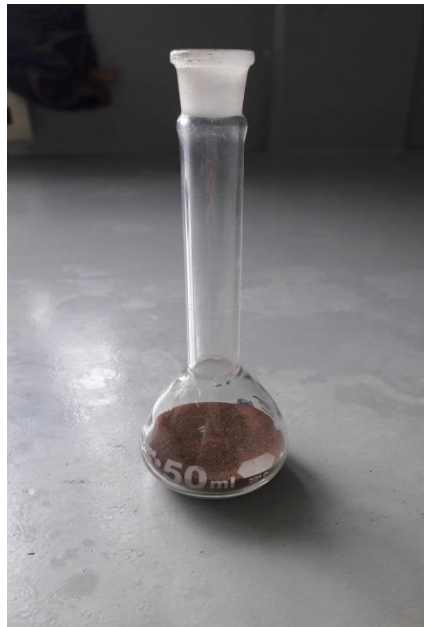
M_s = Massa seca (g);

V = Volume do anel (cm^3).

3.5.2 Densidade de partículas

Para análise da densidade de partículas se utiliza o método do balão volumétrico descrito pela Embrapa (1997), onde são pesadas 20 gramas de solo seco e moído que são adicionados em um balão volumétrico com capacidade de 50 ml (Figura 7). Após colocada a amostra de solo foi adicionado álcool etílico até completar o volume de 50 ml. O conteúdo deve ser agitado e deixado em repouso por um período de 24 horas. No caso de haver redução de volume de álcool, o balão deve ser completado novamente.

Figura 7- Balão volumétrico com amostra de solo.



Fonte: Autora (2021).

Para se calcular a densidade de partículas, aplica-se a Equação 2:

$$Dr = \frac{P}{(50 - V_{\text{álcool}})} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Dr = Densidade de partículas (g/cm^3);

P= Peso da amostra seca (g);

V álcool= Volume do álcool gasto (ml).

3.5.3 Porosidade total

A porosidade do solo foi analisada pelo método estabelecido pela Embrapa (1997) onde se determina o volume total dos poros do solo que são ocupados por água ou por ar.

De acordo com este método, se combina os dados de densidade de partículas com a densidade aparente, através da Equação 3.

$$Pt = \frac{Dr - Da}{Dr} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

Pt = Porosidade total (%);

Dr = Densidade de partículas (g/cm³);

Da = Densidade aparente (g/cm³)

3.5.4 Estabilidade dos agregados

A estabilidade dos agregados, de acordo com Sá, et al. (2000) é um indicador dos diferentes processos envolvidos na degradação do solo, pois apresenta influência na infiltração e retenção de água, aeração e resistência à penetração de raízes, selamento e encrostamento da superfície. A alteração nesse parâmetro do solo pode potencializar a erosão do solo, pois a estabilidade dos agregados tem uma relação direta com a erodibilidade do solo. Para obtenção deste parâmetro foi utilizado o método de extração via úmida ou método descrito por Yoder (1936). Após coletadas no campo, as amostras foram levadas ao laboratório onde passaram por secagem ao ar livre por um período de 72 horas, em seguida foram pesadas e posteriormente submetidas ao peneiramento submerso em água, com peneiras de malhas 4.0, 2.0, 1.0, 0.5 e 0.25 mm (Figura 8).

Figura 8 - Recepção, peneiramento e secagem das amostras no laboratório.



Fonte: Autora (2021).

Depois do peneiramento, os agregados foram dispostos em beckers devidamente identificados e levados para estufa em temperatura de 105°C durante 24 horas. Após secos foram pesados novamente para determinação do percentual de agregados. Para a correção do teor de areia, após o peneiramento com as malhas citadas acima as amostras foram peneiradas por peneira de malha 0.053 mm (Figura 9).

Figura 9 – Secagem, pesagem e determinação do teor de areia das amostras.



Fonte: Autora (2021).

Para a determinação da estabilidade de agregados foi necessário identificar o diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade de agregados (IEA).

Para o DMP foi utilizada a Equação 4, conforme Embrapa (1997):

$$DMP_u = \sum(x_{iu} \cdot w_{iu}) \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

DMP_u = Diâmetro médio ponderado, por via úmido (mm);

w_{iu} = Proporção de agregados em cada classe / peneira por via úmida (mm);

x_{iu} = Diâmetro médio de cada classe, por via úmida (mm).

O cálculo do diâmetro médio geométrico é dado pela Equação 5, de acordo com Castro Filho, Muzilli e Podanoschi (1998):

$$DMG = \text{EXP} \frac{\sum_{i=1}^N wp - \log.xi}{\sum_{i=1}^N .wi} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

DMG = Diâmetro médio geométrico (mm);

wp = Peso dos agregados em cada classe (g);

wi = Proporção dos agregados em cada classe / peneira (mm);

xi = Diâmetro médio de cada classe (mm)

De acordo com os mesmos autores, para o cálculo do índice de estabilidade dos agregados utilizou-se a Equação 6.

$$IEA = \frac{\text{Peso da amostra seca} - wp_{25} - \text{areia}}{\text{Peso da amostra seca} - \text{areia}} \times 100 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

IEA = Índice de estabilidade de agregados;

wp 25 = Peso dos agregados da classe <0,25mm.

3.6 ANÁLISE QUÍMICA DA CAMA

A coleta de amostras da cama do *Compost Barn* foi realizada no mês de junho de 2021, quando a cama se encontrava com cerca de 8 meses de utilização. A metodologia de amostragem foi semelhante àquela utilizada para coleta de solo estabelecida por Embrapa (1997).

Toda a área de descanso foi percorrida e foram realizadas coletas de sub-amostras em profundidades variadas, já que existe o revolvimento da cama diariamente a uma profundidade de 70 cm. Houve a homogeneização das amostras em balde plástico, embalada, identificada e enviada para laboratório especializado.

A metodologia utilizada para análise de orgânica é a estabelecida pela Embrapa e descrita por Silva (2009).

Figura 10 – Coleta de amostras da cama.



Fonte: Autora (2021).

A análise realizada foi de macro e micronutrientes, carbono, matéria orgânica e pH com o objetivo de conhecer a composição química da cama.

3.7 ANÁLISE DOS DADOS

Após a realização de todos os procedimentos laboratoriais para os parâmetros físicos e químicos foram obtidos as informações que passaram por tabulação e análise estatística descritiva (média, variância, coeficiente de variação, desvio padrão e assimetria). Foram aplicados testes paramétricos e não paramétricos para melhor entendimento da dinâmica das variáveis monitoradas. Para representação dos resultados foi utilizado software Estatística 8.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão analisados os dados de cada variável pesquisada tendo como base os resultados na área A1, a qual serve como parâmetro para identificar possíveis alterações na qualidade do solo devido a utilização do composto orgânico proveniente da cama das vacas.

4.1 ANÁLISE QUÍMICA DO COMPOSTO

De acordo com Brasil (2020), a compostagem é um processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos através de uma diversificada população de organismos em condições aeróbias e termofílicas, produzindo um material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem.

O resultado expresso na Tabela 3 estabelece várias relações com informações de pesquisas realizadas com a compostagem de diversos materiais, já que não há no meio acadêmico pesquisas relacionadas à qualidade nutricional da cama deste sistema de confinamento.

Tabela 3 – Análise química do composto

Gramas / Quilograma							Miligramas / Quilograma						
N	P	K	Ca	Mg	S	C	M.O.	Cu	Zn	Fe	Mn	B	pH
20.36	5.86	17.50	15.40	7.10	3.35	385.0	663.0	47.00	197.0	4472.5	286.5	17.12	8.90

FONTE: Autora (2021)

O composto apresenta um valor de matéria orgânica de 663.0 gramas por quilograma de composto, se enquadrando ao que afirma Oliveira et al. (2004) que o material obtido através do processo de compostagem apresenta coloração escura, é rico em húmus e apresenta entre 50 e 70% de matéria orgânica. Dessa forma, pode ser utilizado como fonte de matéria orgânica para o solo trazendo não somente nutrientes para as plantas, mas agindo como um modificador das propriedades físicas e biológicas do solo.

O composto da cama apresenta pH alcalino (8,90) este valor corresponde a afirmação de Kiehl (2002), onde no início do processo da reação da matéria orgânica, seja de origem vegetal ou animal, é geralmente ácida, mas com o processo de compostagem ocorrem reações com as bases liberadas gerando compostos alcalinos. Quando ocorre a maturação do composto este apresenta pH variando entre neutro (pH 7.0) a básico (superior a 8.0).

Durante a digestão da matéria orgânica por fungos e bactérias ocorre a liberação dos ácidos que se acumulam e acidificam o meio. A redução do pH favorece o desenvolvimento dos fungos e a decomposição da celulose. Para que ocorra o desenvolvimento de microrganismos, há necessidade de uma boa aeração e também que as partículas do material a ser decomposto apresente uma dimensão que aumente a sua área específica (BUSNELLO et al., 2013), ou seja, quanto menor a partícula, maior a área específica, favorecendo o processo de compostagem.

A maturidade do composto é definida como o grau de estabilidade das propriedades físicas, químicas e biológicas do material e é responsável pelo sucesso da aplicação do composto na agricultura e seu impacto sobre o meio ambiente (FIALHO, et al. 2007). Ela pode ser observada através do pH, CTC e da relação carbono e nitrogênio (C/N) (KIEHL, 2002; LACERD et al. 2020; JAHNEL, MELLONI e CARDOSO, 1999; FIALHO et al. 2007; BUSNELLO et al, 2013).

De acordo com os autores acima, o composto da cama do rebanho se encontra em maturação, ou seja, está nas condições ideais para aplicação no solo, sem causar contaminação ambiental e trazendo benefícios ao solo.

Em relação aos macro e micronutrientes encontrados no composto, os valores variam de acordo com a dieta oferecida aos animais, seu genótipo e o tempo de compostagem. Segundo Orrico Junior et al. (2012) ocorre um aumento dos teores de elementos minerais, o qual é um indicativo de que a compostagem ocorreu de maneira adequada e quando há uma estabilização nestes teores ocorre a maturação do composto.

Portanto, os teores de nutrientes encontrados no composto apresentam potencialidade de fornecimento de nutrientes para as culturas agrícolas, tornando-se importantes fontes de fertilização dos solos agrícolas.

De acordo com a recomendação técnica formulada por Santos (2017) baseada na análise do composto da propriedade em estudo, é possível fazer a redução em 30% em adubação química, pois o composto fornece 12.753,50 Kg/ano

de nitrogênio, 4.491,69 Kg/ano de fósforo e 11.026,22 Kg/ano de potássio, sendo estes os três macronutrientes de grande importância para o desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas.

4.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Os solos agrícolas brasileiros apresentam um pH de média a alta acidez fazendo com que a produtividade das culturas seja reduzida. As causas da acidez do solo são variadas. Malavolta, (1985) cita que as águas levam as bases do complexo de troca deixando os íons H^+ em seu lugar. Com a redução do pH a valores baixos pode haver a decomposição de minerais de argila e ocasionar o surgimento de Al trocável; a oxidação microbiana do N amoniacal conduz a liberação de íons H^+ ; a raiz realiza a troca de H^+ por cátions que a planta absorve mantendo o equilíbrio eletrostático; e também a decomposição da matéria orgânica que libera alguns íons H^+ no meio, através da dissociação dos seus grupos carboxílicos e fenólicos.

Os resultados obtidos nas áreas de estudo discriminados na Tabela 4 apresentam diferença significativa apenas para a área de lavoura mais antiga onde ocorreram 5 aplicações do composto. Nesta área o pH foi mais elevado em todas as profundidades analisadas enquanto que na área de floresta e na área de lavoura com apenas um ano de aplicação do composto não foi observada diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 4 – Valores de pH do solo nas áreas amostradas.

Profundidade (cm)	pH do solo		
	A1	A2	A3
0-5	3,70 b	4,10 b	4,60 a
5-10	3,70 b	4,00 b	4,60 a
10-20	3,60 b	3,90 b	4,40 a
20-30	3,60 b	3,70 b	4,40 a

* As letras comparam os valores de cada profundidade entre as áreas através do Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Valores de pH semelhantes a este foram encontrados por Barreto et al. (2006) e Feitosa (2004), onde detectaram uma maior acidez, elevados teores de alumínio trocável e baixa saturação por bases em solo de mata. Neste sistema igualmente,

encontraram menores teores de cálcio, magnésio e potássio em comparação com as demais áreas estudadas.

A elevação do pH, de acordo com Perin et al. (2003) ocorre devido ao tempo de uso do solo onde o alumínio trocável acaba precipitando na forma de hidróxido.

Parte desta variação no valor observado no pH se deve ao fato de que a área A1 nunca recebeu aplicação de corretivos para acidez do solo. A área A2, por ser uma área agrícola nova, após o cultivo florestal de *Pinus sp.* Recebeu apenas uma aplicação de corretivo e uma aplicação de composto. Já a área A3 apresenta vários anos de cultivo e já recebeu várias aplicações de corretivos e também 5 aplicações de composto.

Outro parâmetro analisado nas três áreas de estudo foi o teor de matéria orgânica, sendo que esta se constitui como base fundamental para uma prática agrícola sustentável, influenciando nas condições químicas, físicas e biológicas do solo (COSTA, et al. 2013).

A matéria orgânica presente nos solos pode sofrer alterações de maior ou menor intensidade dependendo do sistema agrícola instalado, sendo ela considerada um dos atributos mais sensíveis às transformações desencadeadas pelo manejo (BARRETO et al., 2008).

Conforme a Tabela 5 o teor de matéria orgânica nas três áreas apresentou variações tanto nas áreas quanto nas profundidades analisadas. Nos primeiros cinco centímetros as três áreas apresentaram valores estatisticamente diferentes, sendo que A2 apresentou o maior teor, acompanhado por A3 e com menor teor a A1.

Tabela 5 – Distribuição dos valores de matéria orgânica entre as três áreas.

Profundidade (cm)	Matéria Orgânica (g/dm ³)		
	A1	A2	A3
0-5	40,40 Ac	56,79 Aa	52,01 Ab
5-10	29,19 Bc	46,00 Bb	54,92 Aa
10-20	27,12 Bb	42,88 Ba	49,11 Ba
20-30	24,01 Bc	31,27 Cb	45,79 Ba

* As letras maiúsculas comparam os valores de cada profundidade na mesma áreas através do Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

** Nas letras minúsculas comparam os valores de cada profundidade entre as áreas através do Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

A área A2 pelo fato de ter sido realizada a colheita florestal possui restos de acículas, cascas e serragem em grande quantidade na sua superfície apresentou

um maior teor de matéria orgânica nos primeiros centímetros de profundidade, após a decomposição destes resíduos ocorre uma reposição dos nutrientes exportados pelas plantas durante o seu crescimento, isso é observado por Schumacher et al. (2003).

Em relação a profundidade, ambas as áreas indicaram decréscimo da matéria orgânica iniciando com os maiores valores na camada superficial e reduzindo ao longo do perfil. Quando comparado os valores de matéria orgânica entre as duas primeiras camadas, observa-se que 5 anos de aplicação de dejetos na área A3 contribuíram para que os resultados indicassem valores similares.

As áreas 1 e 2, indicaram as maiores diferenças entre a camada superficial e a 30 cm de profundidade. Na área A1 houve redução de 40% e na área A2 redução de 44,4%. No entanto, a área A3, a redução entre a camada superficial e a última camada mensurada, foi de apenas 13,5%.

A área A3 apresentou maior teor de matéria orgânica entre os 5 e 30 cm de profundidade, sendo esta área cultivada por um maior período de tempo com gramíneas tanto no verão quanto no inverno assim como recebeu mais doses de composto orgânico proveniente da cama das vacas. Esse maior teor de matéria orgânica foi igualmente constatado por Barreto et al. (2008) em estudo sobre o teor de carbono orgânico total em área de floresta, cultivo de cacau e de pastagens, justificando pelo fato de que as gramíneas são plantas de metabolismo C4 e que contribuem para manter o aporte de carbono no solo, assim como seu sistema radicular contribui para isso.

A utilização de dejetos animais nos solos agrícolas pode promover aumento nos teores de matéria orgânica no solo (OURIVES et al., 2010; BAYER e MIELNICZUK, 2008; SILVA, 2018), no entanto, o efeito destes no solo como fornecimento de nutrientes e de material orgânico difere de acordo com a espécie animal fornecedora, sendo que Benke et al. (2010) afirma que os esterco bovinos apresentam uma ação mais lenta, porém mais duradoura no solo.

A área A3 apresentou maior teor de matéria orgânica e também o maior pH das áreas de estudo, isso condiz com o que afirma Domatto Junior et al. (2006) onde o aumento da matéria orgânica no solo através da adição de composto elevou o pH do solo, pois a matéria orgânica indisponibiliza o alumínio fazendo com que o pH se eleve.

A menor concentração de matéria orgânica na A2 era esperado, quando comparado com a área A3, já que as mudanças no conteúdo de M.O. do solo são geralmente lentas (URRA et al., 2019) e um ano de aplicação não é adequado para avaliar a concentração.

A destinação dos dejetos animais na agricultura pode trazer problemas principalmente devido ao potencial de risco ambiental que alguns nutrientes podem trazer no solo e na água. Segundo Seganfredo, (2020) a maior preocupação é com o elemento fósforo (P) devido a sua dinâmica no ambiente e abrangência das perturbações causadas.

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para o fósforo nas três áreas estudadas. A área A3 apresentou a maior concentração deste elemento em todas as profundidades, sendo a maior entre os 5 e 10 cm de profundidade, havendo um decréscimo nas demais profundidades. A área A1 apresentou as menores concentrações que igualmente foram decrescendo conforme aumentou a profundidade analisada.

Tabela 6 - Distribuição dos valores de fósforo entre as três áreas.

Profundidade (cm)	Fósforo (P) (mg/dm ³)		
	A1	A2	A3
0-5	5,69 Ab	27,19 Aa	21,78 Ba
5-10	3,93 Ac	9,62 Bb	28,73 Aa
10-20	1,55 Bc	8,36 Bb	19,39 Ba
20-30	1,90 Bc	6,04 Bb	15,38 Ca

*As letras maiúsculas comparam os valores de cada profundidade na mesma áreas através do Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

**As letras minúsculas comparam os valores de cada profundidade entre as áreas através do Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Quando analisamos a Tabela 6, observamos que houve um aumento na concentração do fósforo em torno de 4 vezes mais entre a camada superficial da floresta com a camada superficial da área agrícola (A3). Devido a menor mobilidade do fósforo no solo, a tendência é que haja o decréscimo de sua concentração com o aumento da profundidade, o mesmo ocorre com os elementos cobre e zinco. Por este motivo, Scherer, Nesi e Massotti (2010) afirmam que estes nutrientes tem sua transferência via escoamento superficial potencializado.

A área A3 é cultivada por um período mais longo e já recebeu 5 aplicações de composto. De acordo com a Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Rio

Grande do Sul e Santa Catarina (2004), a quantidade deste nutriente no solo se encontra alta em todas as camadas analisadas, decrescendo com a profundidade até a quase nível médio.

A área A2 apresentou teor alto apenas nos primeiros 5 cm de profundidade, pois recebeu apenas uma aplicação de composto. Situação semelhante foi encontrada por Scherer, Nesi e Massotti (2010) que observaram um maior teor de fósforo na superfície do solo especialmente quando não é realizada a incorporação dos dejetos. Quando ocorre a utilização de dejetos em áreas com certa declividade existe uma facilidade de perdas deste nutriente através do processo de escoamento superficial.

Apesar de ocorrer migração do fósforo em profundidade, o risco de contaminação ambiental é menor se comparado ao escoamento superficial (Scherer et al, 2010).

Os resultados obtidos para potássio estão descritos na Tabela 7, e são muito semelhantes ao fósforo: maior concentração na superfície, com decréscimo em profundidade. A maior concentração foi encontrada na área com maior número de aplicações de composto (A3), que de acordo com a Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004), se encontra alta em todas as camadas com uma tendência a concentração média com o aumento da profundidade. A redução na concentração deste nutriente com o aumento da profundidade também é observado nas demais áreas estudadas, isso também foi observado por Scherer, Nesi e Massotti (2010) em estudo com dejetos de suínos.

Tabela 7 - Distribuição dos valores de potássio entre as três áreas.

Profundidade (cm)	Potássio (K) (cmol/dm ³)		
	A1	A2	A3
0-5	0,28 Ab	0,60 Aa	0,63 Aa
5-10	0,20 Bb	0,48 Ba	0,50 Ba
10-20	0,20 Bc	0,30 Cb	0,43 Ca
20-30	0,18 Bc	0,35 Cb	0,50 Ba

* As letras maiúsculas comparam os valores de cada profundidade na mesma áreas através do Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

** As letras minúsculas comparam os valores de cada profundidade entre as áreas através do Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Quando comparado os dados da área A1 com a A3, em todas as profundidades, observamos aumento considerável da concentração de Potássio na

área A3. A maior variação foi observada na camada superficial, com um aumento de 120% das áreas A3 para a área A1.

As informações sobre os teores de cálcio estão demonstrados na Tabela 8 e novamente é encontrado um valor mais elevado para este nutriente na área A3. Este fato é decorrente ao maior período de uso agrícola, mais aplicações de corretivos e também devido à utilização do composto. Nesta área também se encontra o valor mais elevado de pH e de matéria orgânica no solo. Nossos resultados corroboram com aqueles encontrados por Pires et al. (2008), onde, em seu estudo sobre adubações alternativas para o cultivo de maracujazeiro observaram que o tratamento com a utilização de esterco bovino provocou o aumento linear dos valores de pH e dos teores de cálcio, magnésio, potássio e fósforo, semelhantemente ao que é observado no presente estudo.

Tabela 8 - Distribuição dos valores de cálcio entre as três áreas.

Profundidade (cm)	Cálcio (cmol/dm ³)		
	A1	A2	A3
0-5	1,60cA	7,62 Ab	9,87 Aa
5-10	1,01bB	7,32 Aa	8,99 Aa
10-20	1,05cB	5,24 Ab	8,46 Aa
20-30	0,69cC	3,62 Bb	8,42 Aa

*As letras maiúsculas comparam os valores de cada profundidade na mesma área através do Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

**As letras minúsculas comparam os valores de cada profundidade entre as áreas através do Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Quando analisada a concentração de cálcio nas profundidades em cada área, observa-se que apenas a área A1 indicou valores diferentes entre a camada superficial (0-5) e a segunda camada (5-10), as demais áreas indicaram valores semelhantes a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Além da maior concentração de Cálcio na área A3, observa-se que os valores não apresentaram variação estatística a nível de 5% de probabilidade entre todas as profundidades. Esta condição pode ser em decorrência do maior tempo de adição dos dejetos.

Os dados referentes ao magnésio estão apresentados na Tabela 9 e corroboram com a informação de Pires et al. (2008), sendo que a área com mais aplicações de composto apresentou maior teor deste elemento, principalmente nas camadas mais superficiais.

Tabela 9 - Distribuição dos valores de magnésio entre as três áreas.

Profundidade (cm)	Magnésio (Mg) (cmol/dm ³)		
	A1	A2	A3
0-5	0,68cA	1,89bA	4,15aA
5-10	0,45cB	1,77bA	3,90aA
10-20	0,33cC	1,3bB	3,86aA
20-30	0,27cC	0,94bC	3,90aA

*As letras maiúsculas comparam os valores de cada profundidade na mesma áreas através do Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade

** As letras minúsculas comparam os valores de cada profundidade entre as áreas através do Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

A distribuição do magnésio no perfil indicou maior variação na área A1 (sem aplicação de dejetos). A partir de um ano de aplicação, houve aumento da concentração de magnésio. Os valores da área A2, foram inferiores àqueles observados na área a A3. Após 5 anos de aplicação dos dejetos, parece haver certa homogeneização na concentração do magnésio no solo até 30 cm de profundidade. Essa questão fica evidente, quando o resultado da concentração de magnésio entre as profundidades foram similares a nível de 5% de probabilidade entre as camadas na área A3.

O elemento cobre é considerado juntamente com o fósforo um elemento presente nos dejetos dos animais, especialmente nos dejetos líquidos de suínos e que se acumulam na superfície do solo. Este metal, juntamente com o nitrogênio, potássio e o zinco, são encontrados na alimentação dos animais e que, devido a falta de balanceamento, grande parte destes nutrientes são excretados pelos animais e se encontram concentrados nas fezes principalmente dos suínos (SEGANFREDO, 2020).

Maiores concentrações deste metal no solo pode causar toxidez para as plantas e potencializar a sua transferência via sedimentos para mananciais de águas superficiais (GIROTTTO et al., 2010).

Os teores de cobre encontrados nas áreas de estudo apresentados na Tabela 10 demonstram que mesmo sem apresentar nenhuma aplicação do composto orgânico a área A1 apresentou valores estatisticamente semelhante a nível de 5% pelo Teste de Tukey à área A3 onde foi realizada cinco aplicações do composto nos primeiros cinco centímetros de profundidade, desta forma se pode considerar que o composto não vai causar acúmulo de cobre na superfície do solo.

Tabela 10 – Distribuição dos valores de cobre entre as três áreas.

Profundidade (cm)	Cobre (mg/dm ³)		
	A1	A2	A3
0-5	1,21 Ba	0,57 Bb	1,07 Aa
5-10	1,26 Bb	1,78 Aa	1,04 Ab
10-20	1,45 Ab	1,79 Aa	1,06 Ac
20-30	1,49 Ab	1,79 Aa	1,02 Ac

*As letras maiúsculas comparam os valores de cada profundidade na mesma áreas através do Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

** As letras minúsculas comparam os valores de cada profundidade entre as áreas através do Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Quando comparados os valores da concentração de cobre entre a área A1 e a área A3, observa-se uma redução na camada superficial em torno de 11%. Neste caso, a área A1 apresenta maior estoque de cobre devido a floresta, já as áreas agrícolas há redução devido a retirado deste mineral pelas plantas.

A baixa concentração de cobre nas áreas agrícolas pode ser em decorrência da pouca quantidade de cobre encontrado no composto (Tabela 3).

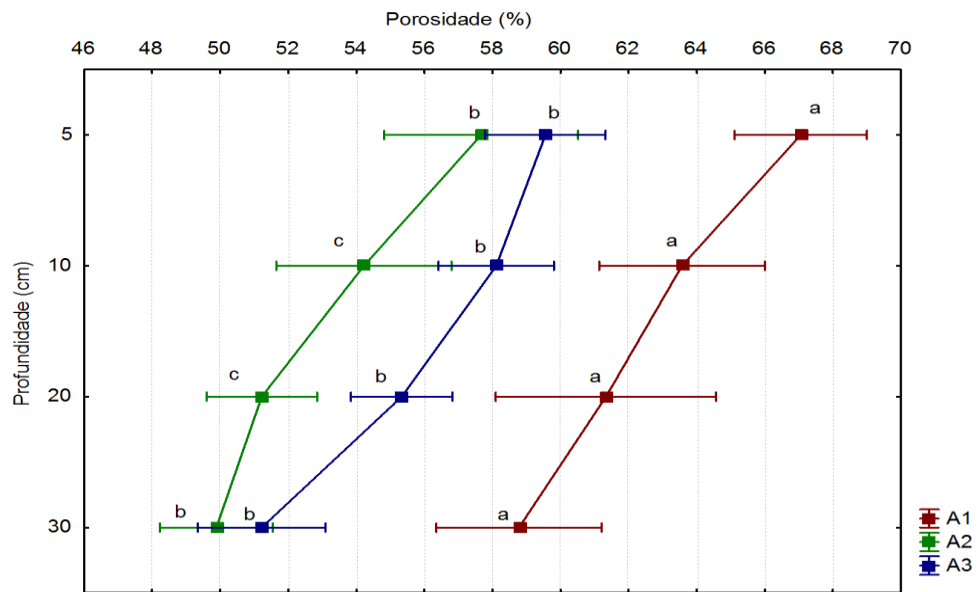
4.3 ATRIBUTOS FÍSICOS

4.3.1 Porosidade

A porosidade do solo é um parâmetro físico utilizado para quantificar os espaços vazios em um determinado ambiente do solo (BERRYMAN e WANG, 2000) e interfere na distribuição de água e conseqüentemente no desenvolvimento das plantas. No entanto, as formas de uso e manejo do solo refletem na variação da porosidade do solo.

Os resultados da porosidade do solo obtidos por esta pesquisa apresentaram diferenças significativas entre as 3 áreas estudadas (Figura 11), apresentando uma variação de 49,8% na profundidade de 30 cm na área A2 (menor porosidade) à 67,0% na profundidade de 5 cm na área A1(maior porosidade).

Figura 11- Gráfico da porosidade do solo.



Fonte: Autora (2021).

Nota 1: as letras iguais na linha horizontal não diferem a nível de 5% pelo teste de Tukey.

Nota 2: as letras estão comparando as variações/ similaridade entre as camadas das diferentes áreas de estudo.

Através da Figura 11 é possível observar que a área A1, por ser um ambiente sem a mecanização e com floresta, apresenta maior porosidade em todas as profundidades se comparando com as áreas agrícolas A2 e A3. Nestas áreas, ocorre o revolvimento do solo pelo menos duas vezes ao ano, para implantação da cultura de inverno e para incorporação do composto orgânico antes da semeadura da cultura de verão. Nas áreas agrícolas também ocorre o tráfego de máquinas agrícolas para a colheita das plantas cultivadas que são utilizadas na alimentação do rebanho.

A porosidade média de cada área variou de 62,68% na área A1, 53,25% na área A2 e 56,05% na área A3. As áreas A2 e A3 não apresentam variação significativa a nível de 5% pelo teste de Tukey na camada de 0-5 cm e também na camada de 20-30 cm.

Com o aumento da profundidade todas as áreas apresentaram redução de porosidade, mas esta foi mais acentuada na área A3, onde a agricultura é praticada por mais tempo e ocorre mecanização para o preparo inicial do solo, tratamentos culturais e colheita das culturas de verão e de inverno.

Apesar da A3 ser a área com maior tempo de prática agrícola intensiva, onde o solo é cultivado o ano todo e que a parte aérea das plantas é totalmente colhida

para produção de alimento para o rebanho é aquela que apresenta a porosidade mais aproximada com área de vegetação natural.

O revolvimento superficial do solo para a incorporação do composto orgânico e para a semeadura da cultura de inverno pode ser um dos fatores responsáveis pela porosidade nos primeiros centímetros de profundidade, esse fato foi observado por Tormena, et al. (2002) em seus estudos sobre as propriedades físicas do solo sob diferentes formas de preparo. A mesma situação foi observada por Gonçalves e Moraes, (2012) que atrelaram também a maior presença de material orgânico nos primeiros 10 cm e após esta profundidade houve redução da porosidade.

Em um estudo sobre efeito de plantas de cobertura do solo, Andrade, Stone e Silveira (2009), afirmam que plantas com sistema radicular mais agressivo como é o caso das gramíneas contribuem positivamente na estrutura física do solo. Como nas áreas agrícolas em estudo o que resta no solo é praticamente o sistema radicular das culturas de verão e de inverno, este fato atrelado ao uso do composto orgânico e do revolvimento superficial está contribuindo para o aumento da porosidade da área A3.

O solo de áreas com vegetação natural apresentam melhores condições físicas e segundo Wendling et al. (2012) esse fato é uma consequência devido a sua conservação e proteção das ações antrópicas.

4.3.2 Densidade

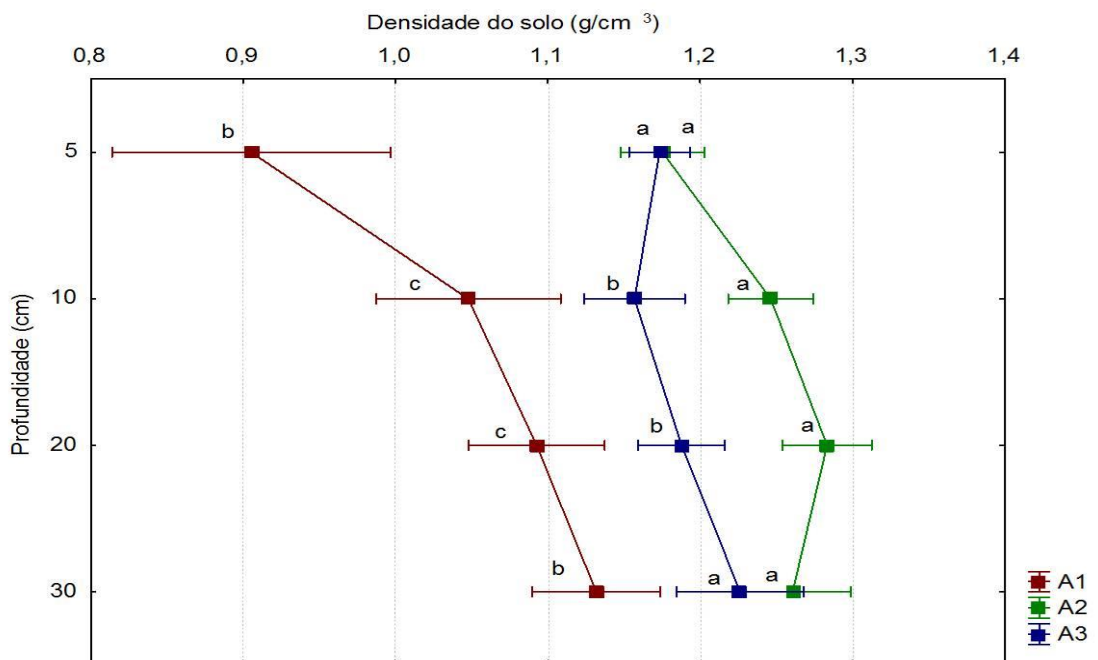
A densidade do solo pode ser considerada como sendo um atributo físico que atua como um indicador do nível de degradação do solo, pois de acordo com Reinert et al. (2008), quanto mais elevada for a densidade do solo, maior a sua tendência a compactação, menor será a sua porosidade e maiores as restrições para o desenvolvimento radicular das plantas.

Em seus estudos sobre os limites críticos de densidade para o crescimento de raízes de plantas de cobertura de solo, Reinert et al. (2008) sugeriram três graus de densidade do solo: baixo com valores inferior a $1,75 \text{ mg/m}^3$; médio com valores entre $1,75$ e $1,85 \text{ mg/m}^3$; e alto com valores acima de $1,85 \text{ mg/m}^3$. Os mesmos autores observaram também o desenvolvimento radicular em todos esses níveis, onde no nível baixo, as raízes não apresentaram alterações morfológicas tendo o crescimento normal; em nível médio de densidade, as raízes tiveram

engrossamento, desvios e ramificações, mas o crescimento em profundidade não apresentou alterações. Já para o alto grau de densidade o crescimento radicular teve dificuldade de se desenvolver, apresentando modificações nas raízes com grande engrossamento, desvios em ângulos de até 90° e em casos extremos a raiz pivotante foi impedida de crescer.

No caso desta pesquisa, os valores de densidade foram classificados como baixo, não apresentando impedimento no desenvolvimento radicular das plantas. No entanto, a densidade do solo apresentou variações nas três áreas experimentais, principalmente com o aumento da profundidade conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Gráfico da densidade do solo nas três áreas.



Fonte: Autora (2021).

Nota 1: as letras iguais na linha horizontal não diferem a nível de 5% pelo teste de Tukey.

Nota 2: as letras estão comparando as variações/ similaridade entre as camadas das diferentes áreas de estudo.

A área A1 apresentou menor densidade em todas as profundidades analisadas, apresentando um valor médio de $1,04 \text{ g/cm}^3$, seguida pela área A3 que apresentou valor intermediário entre as três áreas de estudo com uma densidade média de $1,18 \text{ g/cm}^3$. A área A2 apresentou a maior densidade, com uma média de $1,24 \text{ g/cm}^3$.

Os valores de densidade foram inversos aos valores de porosidade, levando a concluir que a utilização de composto orgânico traz melhorias para as características

físicas do solo conforme o aumento de aplicações, chegando próximo às características de um solo em condições naturais (sem cultivo anual e mecanização). No entanto, as melhorias nas condições físicas são gradativas melhorando no decorrer de anos de aplicação.

A densidade é uma propriedade física do solo que depende da textura do solo e do teor de matéria orgânica. De acordo com Klein (2012) os solos que apresentam maiores teores de argila combinados com maiores teores de matéria orgânica possuem de forma natural valores de densidade mais baixos. Neste sentido, a densidade das áreas de estudo é influenciada além do teor de matéria orgânica também pelo manejo empregado, já que existe revolvimento do solo para incorporação do composto e para a semeadura da cultura de inverno.

4.3.3 Estabilidade dos Agregados das diferentes áreas

A estabilidade dos agregados pode ser definida como a resistência que os agregados possuem quando são submetidos a forças externas como a passagem de máquinas agrícolas e implementos, o pisoteio de animais e fenômenos naturais que podem desagregar sua estrutura, como o impacto das gotas de chuva.

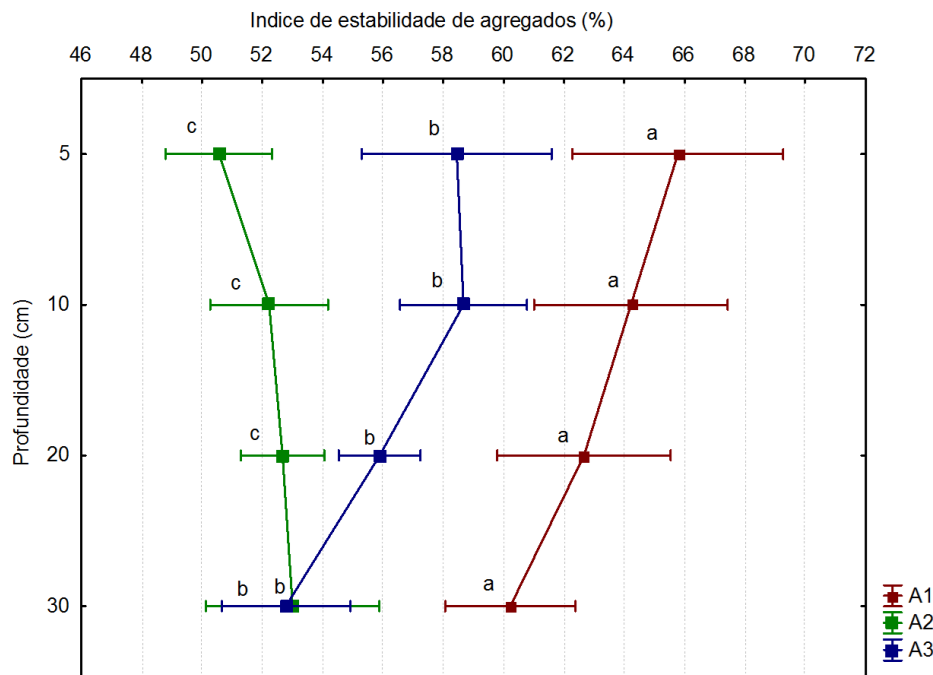
A formação dos agregados é influenciada por diversos fatores como as forças físicas envolvidas no umedecimento e secamento, congelamento e descongelamento, a ação das raízes que realizam a compressão das partículas de solo e a presença do carbono orgânico que é de fundamental importância na estabilização dos agregados. Além destes fatores, a agregação das partículas sofre influência da composição textural, das condições climáticas, das ações dos microrganismos, das raízes das plantas, dos resíduos vegetais e do próprio tracionamento do solo (LIMA, et al. 2003).

Para a formação dos agregados, Bastos et al. (2005) afirmam que é necessário que os colóides do solo se encontrem floculados e que todos os componentes do agregado sejam posteriormente estabilizados por algum agente cimentante, como a matéria orgânica. No caso desta pesquisa, a matéria orgânica parece não ser fator determinante na agregação do solo e sim outros fatores como o uso e manejo do solo.

Na Figura 13 encontra-se o resultado do Índice de Estabilidade dos Agregados das áreas analisadas. É possível observar que a A1 que não apresenta

revolvimento e nem tráfego de máquinas e implementos agrícolas, assim como cobertura vegetal permanente apresentou um maior IEA com média de 63,18%, enquanto que a A3 que representa a área agrícola mais antiga, com cinco anos de aplicação de composto orgânico apresentou 56,75% de IEA e a área agrícola mais jovem com apenas uma aplicação de composto apresentou a menor média de IEA, 55,34%.

Figura 13 – Gráfico do índice de estabilidade de agregados.



Fonte: Autora (2021).

Nota 1: as letras iguais na linha horizontal não diferem a nível de 5% pelo teste de Tukey.

Nota 2: as letras estão comparando as variações/ similaridade entre as camadas das diferentes áreas de estudo.

Os dados apresentados pela figura 13, mostram que não há similaridades entre os valores indicados em cada área, exceto à 30 cm de profundidade das áreas A1 e A2, onde os valores foram similares.

Os sistemas de manejo do solo que garantam a proteção do solo com uso de resíduos orgânicos é essencial para a manutenção ou a melhoria da estrutura do solo (STEFANOSKI, et al. 2013). No entanto, nas áreas agrícolas de estudo (A2 e A3) existe o revolvimento e retirada de praticamente toda a cobertura vegetal através da técnica de silagem para alimentação do rebanho. Entretanto, Salton et al (2008) afirma que as raízes de plantas gramíneas são muito importantes na

formação de agregados, este fator pode estar interferindo principalmente na área A3, onde existe a aplicação de composto orgânico e o cultivo de plantas gramíneas tanto no verão quanto no inverno.

Portanto, ao término dessa pesquisa observamos que 5 anos de aplicação de composto orgânico oriundos das áreas de confinamento do sistema *Compost Barn* pode indicar melhorias na qualidade química e física do solo. Esta melhoria na qualidade do solo em menor tempo pode estar relacionada as características do composto orgânico.

Na literatura são encontrados trabalhos que indicam tempo maior de aplicação de dejetos para que seja observado melhorias significativas na qualidade do solo. Dentre essas pesquisas destaca-se: Asada et al. (2012) onde observaram melhoria na qualidade do solo após 13 anos de aplicação de dejetos suínos em uma área agrícola no Japao; Loss et al. (2017) e Rodrigues de Melo et al. (2019) após 10 e 9 anos respectivamente de aplicação de dejetos suínos em áreas agrícolas no Brasil.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa demonstrou que o confinamento de bovinos leiteiros denominado Sistema *Compost Barn* pode ser considerado uma alternativa mais barata para o tratamento dos dejetos gerados pelo rebanho, pois utiliza apenas resíduos da indústria madeireira ou da agricultura, não havendo a necessidade de altos investimentos como nos demais sistemas de confinamento normalmente utilizada.

A cama das vacas passa por um processo completo de compostagem, sendo que no período de um ano de uso apresentam as características de um composto maduro e com nutrientes, estando pronto para ser utilizado em áreas de cultivo.

Os efeitos da utilização do composto nos atributos químicos do solo foram positivos, pois contribuiu para a elevação do pH, teores de matéria orgânica e em macro e micronutrientes do solo da área A3, que já recebeu cinco aplicações do composto. Como ocorre a retirada de praticamente toda a cobertura vegetal para a produção de alimentos para o rebanho, o solo fica com pouca disponibilidade de matéria orgânica, então a utilização do composto colabora com a reposição de matéria orgânica nas camadas mais superficiais do solo.

Como o composto fornece matéria orgânica para o solo ele contribui para a melhoria de atributos físicos que estão ligados com os o teor de matéria orgânica como é o caso da estabilidade dos agregados.

Quando comparados com a área de vegetação natural A1, a área com a prática agrícola mais antiga, com mais aplicações de composto (A3) apresentou os atributos físicos porosidade, densidade e estabilidade em melhores condições se comparando com a área A2 que teve apenas uma aplicação do composto.

A utilização do composto não alcançou em cinco anos de aplicação níveis de risco para poluição ambiental com os nutrientes fósforo e zinco que em áreas principalmente de utilização de dejetos líquidos de suínos são acumulados nas camadas superficiais e através do escoamento chegam a corpos hídricos causando a eutrofização ou acúmulo de metais pesados.

O uso do composto também proporciona economia na aquisição de fertilizantes, se reduz 30% o uso de adubos químicos nas áreas de lavoura. A redução de aplicação de fertilizantes acaba contribuindo para maior lucratividade do agricultor, sendo esse um dos grandes incentivos para que outros agricultores que

possuem criação de animais em confinamento utilizem os resíduos nas áreas de lavouras. Cabe destacar que a aplicação desses dejetos deve ser realizada de forma assistida por técnicos responsáveis para aplicação, afim de reduzir os possíveis impactos ambientais que o uso desses dejetos pode causar.

Ainda existe a necessidade da realização de pesquisas com a utilização deste tipo de composto no solo, pois é um sistema implantado recentemente no país e que não se tem pesquisas para a comparação de informações e verificação dos efeitos da utilização deste material por um período mais prolongado.

6. REFERÊNCIAS

- AGNE, S. A. A.; KLEIN, V. A. Matéria orgânica e atributos físicos de um latossolo vermelho após aplicações de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, julho de 2014.
- ALBINO, R. L.; et al. Comparison of bacterial populations in bedding material, on teat ends, and in milk of cows housed in compost bedded pack barns. **Animal Production Science**, 2017.
- AMORIM, A. C. **Avaliação do potencial de impacto ambiental e do uso da compostagem e biodigestão anaeróbia na produção de caprinos**. 2005. 108p. Tese (Doutorado em Zootecnia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.
- ANDRADE, R. da S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, p. 411-418, 2009.
- ANTONELI, V. et al. Effects of applying liquid swine manure on soil quality and yield production in tropical soybean crops (Paraná, Brazil). **Sustainability**, v. 11, n. 3898. 2019.
- ASADA, K. et al. Effect of long-term swine-manure application on soil hydraulic properties and heavy metal behaviour. *European journal of soil science*, v. 63, n. 3, p. 368-376, 2012.
- ASSIS, A. G. de . et al. Sistemas de produção de leite no Brasil. Circular Técnica 85. Juiz de Fora – MG: **Embrapa Gado de Leite**. 2005.
- ASSIS JÚNIOR, S. L. de et al. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, v. 27, p. 35-41, 2003.
- BARREIRA, L. P. **Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- BARRETO, A. C. et al. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1471-1478, 2008.
- BARRETO, A. C; et al. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 4, 2006.

BASTOS, R. S. et al. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 21-31, 2005.

BAYER C; MIELNICZUK J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS GA, SILVA LS, CANELLAS LP, CAMARGO FAO (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, p. 7-18, 2018.

BENKE M. B et al. Livestock manure improves acid soil productivity under a cold northern Alberta climate. **Canadian Journal of Soil Science** 90:685-697, 2010.

BERRYMAN, J. G.; WANG, H. F. Elastic wave propagation and attenuation in a double-porosity dual-permeability medium. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, v. 37, n. 1-2, p. 63-78, 2000

BERWANGER, A. L. et al. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, 2525-2532 p. 2008.

BLACK, R. A.; et al. Compost bedded pack dairy barn management, performance, and producer satisfaction. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 12, 2013.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedade dos solos**. 7 ed. São Paulo: Freitas Bastos, 1989, 878p.

BURGUI, R. Confinamento Estratégico. In: Mattos, W. R. S. **A produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba: FEALQ, 2001.

BUSNELLO, J. F. et al. pH e granulometria em compostagem de pequena escala com diferentes fontes de resíduos. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, n. 2, p. 1, 2013.

CALDATO, E. M. R. **Manual técnico de construção e manejo de Compost Barn para vacas leiteiras**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Viçosa. 2019.

CALLEJA-CERVANTES, M. E.; et al. Thirteen years of continued application of composted organic wastes in a vineyard modify soil quality characteristics. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 90, p. 241-254, 2015.

CAMARGO, F.F. **Indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais agroecológicos na área de preservação ambiental – Serra da Mantiqueira – MG**. Tese (doutorado) Universidade Federal de Lavras, 2016.

CAMPOS, A. T. **Análise da viabilidade da reciclagem de dejetos de bovinos com tratamento biológico, em sistema intensivo de produção de leite**. Tese

(Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1997.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.527-538, 1998.

CLARK, L. J. et al. How do roots penetrate strong soil. **Plant and Soil, Dordrecht**, v. 255, n. 01, p. 93-104, 2003.

COSTA, J. H. C.; et al. Prevalence of lameness and leg lesions of lactating dairy cows housed in southern Brazil: Effects of housing systems. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 3, 2018.

CORRECHEL, V.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Influência da posição relativa à linha de cultivo sobre a densidade do solo em dois sistemas de manejo do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 23, p. 165-173, 1999.

DAMASCENO, F. A. Compost bedded pack barns system and computational simulation of airflow through naturally ventilated reduced model. 2012. P. 391.

DAMATTO JUNIOR, E. R. et al. Alterações em propriedades de solo adubado com doses de composto orgânico sob cultivo de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, p. 546-549, 2006.

DAS, S.; JEONG, S.T.; KIM, P.J. Composted cattle manure increases microbial activity and soil fertility more than composted swine manure in a submerged rice paddy. **Front. Microbiol.**, V. 8, p. 1702. 2017.

DEVRIES, T. J. Feeding behavior, feed space, and bunk design and management for adult dairy cattle. **Vet. Clin. Food Animal**, v. 35 p. 61-76, 2019.

DE MELO, T.R. et al. Biogenic aggregation intensifies soil improvement caused by manures. **Soil Tillage Res.** 2019, 190, 186–193.

ECKELKAMP, E. A. **Compost bedded pack barns for dairy cattle: bedding performance and mastitis as compared to sand freestalls.** Theses and Dissertations--Animal and Food Sciences. 43, 2014.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Análise de Solos.** 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

Endress, M. I.; Barberg. A. E. Behavior of Dairy Cows in an Alternative Bedded-Pack Housing System. **Journal of Dairy Science**, v. 90; p. 4192–4200, 2007.

ERTHAL, V. J. T. et al. Alterações físicas e químicas de um argilossolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14. n.5. maio de 2010.

EUCLIDES FILHO, K. O enfoque de cadeia produtiva como estratégia para a produção sustentável de carne bovina. In: Medeiros, S. R. **A produção animal e a segurança alimentar**. Campo Grande: SBZ, 2004.

FEITOSA, A. A. N. **Diversidade de espécies florestais arbóreas associada ao solo em topossequência de fragmento de Mata Atlântica de Pernambuco**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2004.

FIALHO, L. P. et al. Comparação de métodos para determinação do período de maturação da matéria orgânica durante o processo de compostagem a partir de diferentes resíduos. In: **Embrapa Instrumentação-Artigo em anais de congresso**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31, 2007, Gramado, RS. Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira. Anais... Porto Alegre: SBCS, 2007.

FRANCO, A.; et al. Application of cattle manure as fertilizer in pastureland: Estimating the incremental risk due to metal accumulation employing a multicompartment model. **Environment International**, v. 32, p. 724–732, 2006.

FREITAS, J. Z. **Esterqueiras para dejetos de bovinos**. Manual técnico. Programa Rio Rural, Niterói, 2008.

GATIBONI, L. C.; NICOLOSO, R. da S. Usos de dejetos animais como fertilizantes: impactos ambientais e a experiência de Santa Catarina. In: **Produção animal e recursos hídricos: tecnologias para manejo de resíduos e uso eficiente de insumos**. Brasília: EMBRAPA, 2019.

GIROTTI, E. et al. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 955-965, 2010.

GOMES, M. A. F. FILIZOLA, H. F. Indicadores físicos e químicos da qualidade do solo de interesse agrícola. **Embrapa Meio Ambiente**. Jaguariuna, 2006.

GONÇALVES, F. C.; MORAES, M. H. Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Irriga**, v. 17, n. 3, p. 337-345, 2012.

GUARIZ, H. R. et al. Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal, Rio Grande do Norte, 2009.

HERNÁNDEZ, T. et al. Use of compost as an alternative to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (*Lactuca sativa L.*) crops—Effects on soil and plant. **Soil and Tillage Research**, v. 160, p. 14-22, 2016.

HONIGMANN, S. Balanço das importações e exportações de lácteos em 2020 e expectativas para 2021. **Carta Leite**. n.228, v.20, 2021.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Disponível em:< <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017>> Acesso em 10 de julho de 2021.

JAHNEL, M. C.; MELLONI, R; CARDOSO, E.J. B. N. Maturidade de composto de lixo urbano. **Scientia agricola**, v. 56, n. 2, p. 301-304, 1999.

JANNI, K. A.; et al. Compost dairy barn layout and management recommendations. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 23(1), p. 97-102, 2007.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. 3. ed. Piracicaba, 2002.

KLEIN, V., A. - **Física Do Solo**. 2 ed. – Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2012. 240p.

KLEIN, M; et al. Monitoring bacterial indicators and pathogens in cattle feedlot waste by real-time PCR. **Water Research**, v. 44, p. 1381-1388, 2010.

KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C.. Manejo e utilização de dejetos animais: aspectos agronômicos e ambientais. Sete Lagoas: **Embrapa-CNPMS**, Circular técnica, 63, 2005.

LACERD, K. A. P. et al. Compostagem: alternativa de aproveitamento dos resíduos sólidos utilizando diferentes modelos de composteiras. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 40753-40763, 2020.

LEITE, J. L. B. Caminhos para produção de leite em pequena escala. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v.37, n.2. 2020.

LIMA, C. L. R. et al. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 199-205, 2003.

LOSS, A. et al. Carbon, nitrogen natural abundance of ¹³C and ¹⁵N in biogenic and physiocogenic aggregates in a soil with 10 years of pig manure application. **Soil Tillage Res.** 2017, 166, 52–58.

MALAVOLTA, E. **Reação do solo e crescimento das plantas**. Em: Seminário sobre Corretivos Agrícolas, Fundação Cargill, p. 3- 64, 1985.

MANSO, K. R. J. **Confinamento de bovinos: estudo do gerenciamento dos resíduos**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Curso de Engenharia Ambiental da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2007.

- MATOS, E. da S. et al. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1221-1230, 2008.
- MEGDA, M. M.; et. al. Correlação linear e espacial entre a produtividade de feijão e a porosidade de um Latossolo vermelho de Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32, p.781- 788, 2008.
- MELQUIADES, F. L. et al. Coupling soil transfer from hillslope to riparian zone through natural fingerprint in a catchment with tobacco crop. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, n. 4, p. 1928-1936, 2019.
- MENG, L.; DING, W.; CAI, Z. Long-term application of organic manure and nitrogen fertilizer on N₂O emissions, soil quality and crop production in a sandy loam soil. **Soil Biol. Biochem.** 2005, 37, 2037–2045
- MORAES, M. T. de et al. Dejetos líquidos de suínos como alternativa a adubação mineral na cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 6, p. 2945-2954, 2014.
- MOTA, C. V. et al. Confinamento para bovinos leiteiros: histórico e características. **PUBVET- Medicina Veterinária e Zootecnia**. v.11. n.5. 432-443 p. Maio de 2017.
- NITSCHKE, P. R. et al. Atlas Climático do Paraná. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 2019.
- NOBREGA, J. C. A. et al. Densidade de partículas, densidade do solo e volume total de poros em solos do Agreste baiano sob diferentes usos em sistemas orgânicos. In. **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 35, Natal, Rio Grande do Norte, 2015.
- OGEJO, J. A. Compost Bedded Pack Dairy Barns. **Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech**, 2018.
- OLIVEIRA; TAVARES FILHO; BARBOSA. Alterações na física do solo com a aplicação de dejetos animais. **Geographia Opportuno Tempore**, Londrina, v.2, n.2. Edição Especial, p.66-80, 2016.
- ORRICO JUNIOR, M. A. P. et al. Compostagem dos dejetos da bovinocultura de corte: influencia do período, do genótipo e da dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, n.5, p.1301-1307, 2012.
- OURIVES, O. E. A; et al. Fertilizante orgânico como fonte de fósforo no cultivo inicial de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 2, p. 126-132, 2010.
- PEREIRA, J. S. et al. Porosidade e densidade de solos sob uso agrícola no município de Sobradinho – BA. In. **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 34. Florianópolis, Santa Catarina, 2013.

PERIN, E.; CERETA, C. A.; KLAMT, E. Tempo de uso agrícola e propriedades químicas de dois Latossolos do Planalto médio do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 665-674, 2003.

PINTO, F. A. et al. Atributos de solo sob pastejo rotacionado em função da aplicação de cama de peru. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v.42. n.3. 254-262 p. jul/set. 2012.

PIRES, A. A. et al. Efeito da adubação alternativa do maracujazeiro-amarelo nas características químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1997-2005, 2008.

REINERT, D. J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Ciências Rurais. 2006.

RODRIGUES, A. et al. Compostagem de resíduos orgânicos: eficiência do processo e qualidade do composto. **Enciclopédia biosfera**, v. 11, n. 22, 2015.

ROSA, H. A. et al. Desenvolvimento inicial do trigo em diferentes densidades de solo. **Revista Técnico-Científica**, n. 17, 2019.

ROSEN, C.; HALBACK, T. R.; MUGAAS, R. **Composting and mulching: A guide to managing organic yard waste**. St. Paul, Minn.; Univ. of Minnesota, University of Minnesota Extension Publication # BU-3296-GO. 2000.

SÁ, M. A. C. et al. Comparação entre métodos para o estudo da estabilidade de agregados em solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.9, p.1825-1834, setembro 2000.

SALTON, J. C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, p. 11-21, 2008.

SANTOS, M. A. **Recomendação de fertilização com uso de dejetos bovinos e água de lavagem de laticínio**. EMS – Design e Soluções Ambientais Ltda. Joaçaba – SC 2017.

SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1375-1383, 2010.

SCHUMACHER, M. V. et al. **Monitoramento das características físicas e químicas do solo em área de segunda rotação com floresta de Pinus taeda L.** UFSM, 2003. 36p.

SEGANFREDO, M. A. Riscos ambientais associados ao uso de dejetos animais como fertilizantes e índices de solo para sua avaliação. **Embrapa Suínos e Aves**, 2020.

SEGANFREDO, M. A. Os dejetos de animais podem causar poluição também nos solos de baixa fertilidade e nos solos profundos como aqueles da região dos cerrados. Comunicado Técnico 292. **Embrapa Suínos e Aves**, novembro 2001.

SIGUA, G. C. et al. Microbiological quality assessment of watershed associated with animal-based agriculture in Santa Catarina, Brazil. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 210, n. 1, p. 307-316, 2010.

SILVA, F. C da. Manual de análises de solos, plantas e fertilizantes. **Embrapa Solos**, 2009.

SILVA, M. S. da. **Efeitos de esterco bovino em atributos químicos e físicos do solo, produtividade de milho e créditos de nitrogênio**. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018.

SIQUEIRA, A. V. **Instalação do tipo “Compost Barn” para confinamento de vacas leiteiras**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Zootecnia) – Curso de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2013.

STEFANOSKI, D. C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 17, p. 1301-1309, 2013.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3 ed. Brasília - DF: EMBRAPA, 2017.

TORMENA, C. A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 795-801, 2002

TYSON, J. Thinking about a compost bedded pack?. **Progressive Dairy**. 2010. Disponível em: <<https://www.progressivedairycanada.com/topics/facilities-equipment/thinking-about-a-compost-bedded-pack>>. Acesso em 23 de agosto de 2020.

URRA, J. et al. The application of fresh and composted horse and chicken manure affects soil quality, microbial composition and antibiotic resistance. **Applied Soil Ecology**, vol.135,p. 73-84. 2019.

VALENTE, B. S. et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, p. 59-85, 2009.

VALENTE, B. S. et al. Compostagem em pilhas e vermicompostagem no tratamento da mistura de cama de aviário e dejetos líquidos de bovinos leiteiros. **AUGMDOMUS**, v. 6, 2014.

VANOT, L. R.; HERINGER, V. C.; FAGNANI, R. Relação da regulamentação brasileira do leite com a qualidade deste produto entre 2000 e 2020: revisão bibliográfica, situação atual e tendências. **Ensaio e Ciências**. v.24, n.5. 473-479 p. 2020.

WENDLING, B. et al. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, 2012.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of America Society of Agronomy**, v.28, p.337-357, 1936.