UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”

Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: uma saída sustentável para a adubação na Fazenda Santa Rosa

André Nakano Rodrigues

Piracicaba
2022

André Nakano Rodrigues

Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: uma saída sustentável para a adubação na fazenda Santa Rosa

Orientador: Prof. Dr. **URBANO DOS SANTOS RUIZ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção de grau bacharelado em Engenharia Agronômica pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Piracicaba
2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me permitido chegar até aqui e pela oportunidade de viver cada dia a mais que passa. Agradeço aos meus pais que, desde o começo, são a base que me sustenta e meu maior exemplo e fonte de admiração. Agradeço ao meu irmão pelos conselhos, amizade e companheirismo e a minha namorada, pelo carinho e amor constantes e por suportar comigo as tribulações ao longo desse processo tão penoso e, ao mesmo tempo, gratificante.

Agradeço à Martha e Luis por terem me acolhido em sua própria casa e me dado a oportunidade de trabalhar na empresa. Agradeço ao Professor Dr. Urbano dos Santos Ruiz pela orientação, disposição e atenção e ao Fernando, meu supervisor de estágio, pelos ensinamentos e conselhos. Agradeço também aos meus colegas de trabalho Tiurema, Luciano, Yasmin, Sabrina e tantos outros, por tornar a rotina mais leve e acolhedora.

Finalmente, agradeço a todos da república Na-Tlha, palco de alguns dos melhores anos da minha vida e à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", local em que tive o privilégio de estudar.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. FLUXOGRAMA DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA (VIII FÓRUM DO BIOGÁS, 2021). 11

FIGURA 2. ECONOMIA CIRCULAR (BIOMETHER, 2017). 13

FIGURA 3. FOTO AÉREA - FAZENDA SANTA ROSA (SOFT PIG, 2022) 19

FIGURA 4. ÁREA AGRICULTÁVEL - FAZENDA SANTA ROSA (SOFT PIG, 2022). 20

FIGURA 5. PLANTA PLANIALTIMÉTRICA COM AS LINHAS DE IRRIGAÇÃO DA PROPRIEDADE. (SOFT PIG, 2022). 21

FIGURA 6. ESQUEMA REPRESENTATIVO DA VISÃO INTERNA DO REATOR MODELO LAGOA COBERTA (KUNZ, 2019). 22

FIGURA 7. CORTE TRANSVERSAL DOS BIODIGESTORES DA PROPRIEDADE (SOFT PIG, 2022).....23

FIGURA 8. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE SISTEMA DE AGITAÇÃO HIDRÁULICO DE SUBSTRATO (KUNZ, 2019).....24

FIGURA 9. ÁREA DA FAZENDA DESTINADA À EXPANSÃO DO CULTIVO DAS GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS (SOFT PIG, 2022). 24

FIGURA 10. TRIÂNGULO TEXTURAL DO SOLO. (LEMOS E SANTOS, 1996). 27

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. CARACTERÍSTICAS DOS DEJETOS FRESCOS DE SUÍNOS, CONSIDERANDO-SE SOMENTE ESTERCO E A URINA, EXPRESSO POR 1.000 KG DE PESO VIVO 10

TABELA 2. COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS 12

TABELA 3. ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DIÁRIA DE DEJETOS POR SUÍNO EM CASA FASE DE DESENVOLVIMENTO NA FAZENDA SANTA ROSA 22

TABELA 4. ANÁLISE DE SOLO DA ÁREA SANTO ANTÔNIO NORTE 25

TABELA 5. LIMITES DE INTERPRETAÇÃO DE TEORES DE POTÁSSIO E DE FÓSFORO EM SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO 25

TABELA 6. LIMITES DE INTERPRETAÇÃO DAS DETERMINAÇÕES RELACIONADAS COM A ACIDEZ DO SOLO 26

TABELA 7. LIMITES DE INTERPRETAÇÃO DE TEORES DE CA^{2+}, MG^{2+} E $SO4^{2-}$ EM SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO 26

TABELA 8. LIMITES DE INTERPRETAÇÃO DOS TEORES DE MICRONUTRIENTES EM SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO 26

TABELA 9. INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE DO SOLO CONFORME CRITÉRIOS SEGUIDOS PELO IAC 26

TABELA 10. SATURAÇÃO POR BASES DESEJADA PARA CADA GRUPO DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS 29

TABELA 11. ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA FORMAÇÃO DE FORRAGEIRAS 30

TABELA 12. ADUBAÇÃO POTÁSSICA PARA FORMAÇÃO DE FORRAGEIRAS 30

TABELA 13. ADUBAÇÃO NITROGENADA PARA FORMAÇÃO DE FORRAGEIRAS 31

TABELA 14. ADUBAÇÃO DE FORMAÇÃO DE MICRONUTRIENTE PARA PASTO EXCLUSIVO 31

TABELA 15. ANÁLISE QUÍMICA DO BIOFERTILIZANTE 31

TABELA 16. VALORES MÉDIOS DE EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DOS NUTRIENTES DE DIFERENTES FERTILIZANTES ORGÂNICOS APLICADOS NO SOLO EM DOIS CULTIVOS SUCESSIVOS 32

TABELA 17. DOSES DE NUTRIENTES EXIGIDAS PARA FORMAÇÃO DAS FORRAGEIRAS NA PROPRIEDADE 32

TABELA 18. APORTE DE NUTRIENTES PARA CADA DOSE DO BIOFERTILIZANTE 33

TABELA 19. DOSES DE NUTRIENTES NECESSÁRIAS PARA A FORMAÇÃO DE PASTAGEM NA PROPRIEDADE ANTES E APÓS APLICAÇÃO DO BIOFERTILIZANTE 34

TABELA 20. GARANTIAS DE ALGUNS FERTILIZANTES MINERAIS UTILIZADOS COMO FONTE DE MACRONUTRIENTES NA AGRICULTURA 34

TABELA 21. COTAÇÃO INTERNA DO MÊS DE MAIO DE 2022 PARA COMPRA DE FERTILIZANTES MINERAIS NA FAZENDA SANTA ROSA 34

TABELA 22. ESTIMATIVA DE CUSTO DE ADUBAÇÃO COM FERTILIZANTES MINERAIS E DEJETO SUÍNO RECICLADO NA PROPRIEDADE 35

SUMÁRIO

RESUMO **7**

1. INTRODUÇÃO **9**

2. OBJETIVOS **15**

2.1. GERAIS 15
2.2. ESPECÍFICOS 15

3. MATERIAL E MÉTODOS **17**

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO **19**

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA PROPRIEDADE 19
4.1.1. Fazenda Santa Rosa *19*
4.1.1.1. Fertirrigação 20
4.1.2. Granja de Suínos *21*
4.1.2.1. Volume de dejetos 21
4.1.2.2. Biodigestores 22
4.2. ANÁLISE DO SOLO 24
4.2.1. Interpretação da análise *26*
4.2.2. Classificação textural *27*
4.3. ESPÉCIES FORRAGEIRAS 27
4.3.1. Pennisetum glaucum *27*
4.3.2. Panicum maximum cv. Miyagui *28*
4.3.3. Recomendação de adubação *28*
4.3.3.1. Calagem 29
4.3.3.2. Gessagem 29
4.3.3.3. Adubação fosfatada 30
4.3.3.4. Adubação potássica 30
4.3.3.5. Adubação nitrogenada 30
4.3.3.6. Micronutrientes 31
4.4. CARACTERIZAÇÃO DO BIOFERTILIZANTE 31
4.5. TAXA DE APLICAÇÃO DO BIOFERTILIZANTE 32
4.6. IMPACTOS DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA NOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DA PROPRIEDADE 33

5. CONCLUSÃO **36**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **37**

RESUMO

Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: uma saída sustentável para a adubação na fazenda Santa Rosa

Mediante à sobrevalorização e crise de abastecimento de insumos agrícolas no cenário nacional e internacional do agronegócio, os produtores rurais tendem a recorrer a alternativas ao uso de fertilizantes minerais. O processo de biodigestão anaeróbia torna-se, portanto, atrativo tanto no âmbito econômico como no ambiental. Em uma granja de suínos, a reciclagem de dejetos por meio da biodigestão anaeróbia não só disponibiliza fertilizante organomineral com boa concentração de nutrientes de alto valor agregado, como também atua como fonte de energia renovável através da produção de biogás. O objetivo foi avaliar o potencial de adubação de dejetos de suínos reciclados por meio desse método para implantação de área de pastagem e, frente a isso, foi estimada a economia com a compra de fertilizantes convencionais na propriedade. O estudo foi conduzido na Fazenda Santa Rosa no município de Leme-SP. A metodologia foi dividida em quatro etapas. A primeira consistiu na caracterização da propriedade e, para tal, foram coletados dados e informações do sistema da empresa, a qual autorizou a sua concessão. Na segunda etapa, foi analisado o solo de interesse em laboratório terceiro. A etapa seguinte consistiu em consultas na literatura acerca de recomendação de adubação para formação das gramíneas *Panicum maximum* cv Miyagui e *Pennisetum glaucum* (Milheto) no solo analisado. Na quarta e última etapa, estimou-se, a partir da análise química do biofertilizante em laboratório terceiro, o seu potencial de adubação frente ao plantio das forrageiras supramencionadas. Como resultado, constatou-se que a aplicação de 51,68 m³/ha do biofertilizante analisado na área de interesse do estudo gerou uma economia de R$ 875,90/ha ou R$ 35.036,00 com a compra de fertilizantes convencionais. Logo, o biofertilizante apresentou alto potencial de adubação e ficou claro os benefícios da biodigestão anaeróbia para a propriedade, no âmbito econômico e ambiental.

Palavras-chave: Adubo; biofertilizante; reciclagem; gramíneas.

1. INTRODUÇÃO

Mediante à lenta recuperação pós-período de pandemia, instabilidade econômica, política e social do país, bem como os expressivos reajustes e oscilações dos preços médios dos agroquímicos, devido à crise de abastecimento de insumos agrícolas no mercado interno e externo, é fato que os produtores rurais brasileiros estão submetidos a inúmeros desafios e iniciaram a safra 21/22 sob condições adversas.

Apesar de ser um dos protagonistas e uma potência agrícola no globo, o Brasil não possui autossuficiência na produção de fertilizantes e tem que importar a maior parte do que consome. Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos (Anda), em 2020, das 40 milhões de toneladas de adubos utilizadas no Brasil, 6,3 milhões de toneladas foram produzidas em território nacional. O restante, 85% do total, foi importado de países como a China, Belarus, Rússia e Canadá (TAGUCHI, 2021).

No ano de 2021, no âmbito internacional, o aumento significativo dos preços dos fertilizantes esteve atrelado a alguns fatores externos. A crise energética na China, desencadeada pela adaptação do período de pandemia, aumento internacional do preço do gás natural e restrições à energia obtida a partir da queima de carvão, impactou na produção dos fertilizantes nitrogenados no país e diminuiu sua oferta. Com relação aos fosfatados, sua valorização foi impulsionada pela taxação norte-americana sobre o produto proveniente de Marrocos, que é importante produtor dessa matéria-prima (OSAKI, 2021).

O forte reajuste do cloreto de potássio (KCl) de junho para julho de 2021, de 39,6% (CEPEA, 2021), no porto de Vancouver (Canadá), deve-se à restrição imposta à Bielorrússia pela União Europeia, em que o país foi proibido de vender, fornecer, transportar ou exportar diversos bens e ativos, entre eles os produtos petroquímicos e KCl. É válido ressaltar que a Bielorrússia **é** responsável por pelo menos 1/5 da produção mundial de KCl, sendo o segundo maior produtor do mundo (OSAKI, 2021).

Também entre janeiro e julho de 2021, o preço médio do fosfatado monoamônico (MAP) negociado nos portos de Casa Blanca (Marrocos) e de São Petersburgo (Rússia) ficou 96,3% superior ao do mesmo período de 2020. Para esse insumo, foram observadas fortes valorizações nos dois primeiros meses de 2021. Em julho, especificamente, a cotação média da tonelada do MAP no porto russo foi a maior desde outubro de 2008, em termos nominais (CEPEA, 2021).

Já no Brasil, considerados todos os estados acompanhados mensalmente pelo CEPEA, a média de janeiro a julho de 2021 do preço da ureia subiu 58,4% frente ao mesmo intervalo de 2020, atingindo, em julho, o maior patamar nominal desde outubro de 2008 nos estados do Paraná e de Mato Grosso. No caso do MAP, a cotação média do período avançou significativos 90,3% na mesma comparação, com os preços de julho sendo os maiores desde novembro de 2008 em Mato Grosso e no Paraná. O KCl se valorizou 52,4% na parcial deste ano frente ao mesmo período de 2020, com o insumo comercializado em julho ao preço mais alto desde agosto de 2009 em Mato Grosso e no Paraná (CEPEA, 2021).

Somada a essa crise de abastecimento de fertilizantes que se iniciou em 2021 e desencadeou escassez e oscilações nos seus preços, é preciso considerar a contínua crise energética em países fornecedores de matérias-primas para os insumos agrícolas, como a China, Rússia e Índia, e os conflitos militares entre Rússia e Ucrânia desde o início de 2022, que culminaram na cessação da exportação de fertilizantes russos. Logo, é válido assumir que a crise de agroquímicos continuará a se agravar e se estenderá para a safra 22/23.

Diante desse cenário que se desenrola no contexto internacional e nacional, em decorrência da falta e sobrevalorização dos insumos agrícolas e, consequentemente, da dificuldade de sua importação e demora da entrega

na fazenda, os produtores rurais brasileiros tendem a buscar alternativas ao uso de fertilizantes convencionais, de forma a mitigar perdas de produtividade. O agronegócio brasileiro tem tecnologia para substituir os insumos químicos por orgânicos nas lavouras, mas a solução depende de técnicas que devem ser implementadas no longo prazo, como o uso da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, ou requerem investimento para gerar os recursos ao campo em grande escala, a exemplo dos bioinsumos (ESTADÃO, 2021).

Surge, portanto, a necessidade de suprir a demanda nutricional do solo e das culturas de uma outra forma. Fertilizantes orgânicos e organominerais tornam-se protagonistas na busca por substitutos aos agroquímicos, uma vez que apresentam boa concentração de nutrientes, alta disponibilidade, facilidade de aquisição e baixo custo. Em uma granja suinícola, por exemplo, pode-se reaproveitar os dejetos de suínos (DS) como adubo, desde que devidamente reciclados. Além de possibilitar a substituição do fertilizante convencional, a reciclagem dos DS transforma um passivo ambiental em um ativo econômico.

Os DS são formados por restos de ração, fezes, urina e água de bebedouros e de lavagem das baias, e contêm nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e cobre (Cu) (CARDOSO, OYAMADA e SILVA, 2015). Os nutrientes contidos nos dejetos têm alto valor agregado, sobretudo quando considerado o aumento que o preço dos fertilizantes químicos tem sofrido nos últimos anos (KUNZ, HIGARASHI e OLIVEIRA, 2005).

O teores de nutrientes nos DS variam dependendo da idade dos animais, alimentação, temperatura, métodos utilizados para recolher e armazenar os resíduos e do teor de umidade. A quantidade de água utilizada para remover os resíduos das instalações tem um grande efeito sobre a umidade do conteúdo (CHASTAIN et al., 2003). É possível verificar algumas características dos DS frescos na Tabela 1.

Tabela 1. Características dos dejetos frescos de suínos, considerando-se somente esterco e a urina, expresso por 1.000 kg de peso vivo

Parâmetro	Valor	Desvio Padrão
Volume Total (dm^3)	84,5	24
Urina (kg)	39	4,8
Densidade (kg/dm^3)	990	24
Sólidos Totais (kg)	11	6,3
Sólidos Voláteis (kg)	8,5	0,66
Demanda bioquímica por oxigênio (kg)	3,1	0,72
Demanda química por oxigênio (kg)	8,4	3,7
pH	7,5	0,57
N total (kg)	0,52	0,21
N Amoniacal (kg)	0,29	0,1
P Total (kg)	0,18	0,1
K Total (kg)	0,29	0,16

Fonte: ASAE (1993).

Os DS, em geral, possuem boas concentrações de N, P e K que são os três principais componentes dos fertilizantes convencionais comercializados e indicados para a adubação do solo no cultivo agrícola. No entanto, o lançamento de dejetos de suínos "in natura" no solo pode provocar o acúmulo de nutrientes, desequilíbrio químico, queda da produtividade das culturas (principalmente cereais), intoxicação de animais por determinados nutrientes na forragem, contaminação por metais pesados e excesso de nitrogênio e fósforo no solo (SEGANFREDO, 2000).

Para a adequação dos DS gerados ao longo da cadeia produtiva suinícola, de modo a reduzir a carga orgânica desses compostos e impedir a contaminação do solo, são utilizados nas granjas alguns métodos de reciclagem que consistem, simplificadamente, na estabilização e decomposição da matéria orgânica. Dentre os mais comuns, estão a compostagem, a sobreposição de cama, a utilização de sistemas de lagoas e os biodigestores (MAPA, 2016).

O biodigestor de lagoa coberta é o modelo mais empregado e difundido para a reciclagem dos dejetos de suínos com concentração mínima de sólidos, que consiste em um tanque escavado no solo, impermeável e coberto com material sintético o suficiente para estender em congruência ao aumento do volume de gases gerados durante a biodigestão e conservar o biogás em seu interior. (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019). A reciclagem consiste em remover ou transformar os agentes poluentes do material, de forma que possa ser reaproveitado no solo na forma de adubo (SOUZA, 2005).

No interior do biodigestor, ocorre a biodigestão anaeróbia, processo de decomposição microbiana da biomassa em que, na ausência de oxigênio, obtém-se biogás, composto majoritariamente por metano e gás carbônico, e biofertilizante ou digestato, que é empregado na atividade agrícola. Esse processo contribui para minimizar a contaminação ambiental decorrente da atividade suinícola e, na perspectiva sanitária, diminui a emissão de odores e a presença de eventuais patógenos (BARBOSA; LANGER, 2011; MANNING; HADRICH, 2015). A Figura 1 demonstra o esquema da biodigestão anaeróbia.

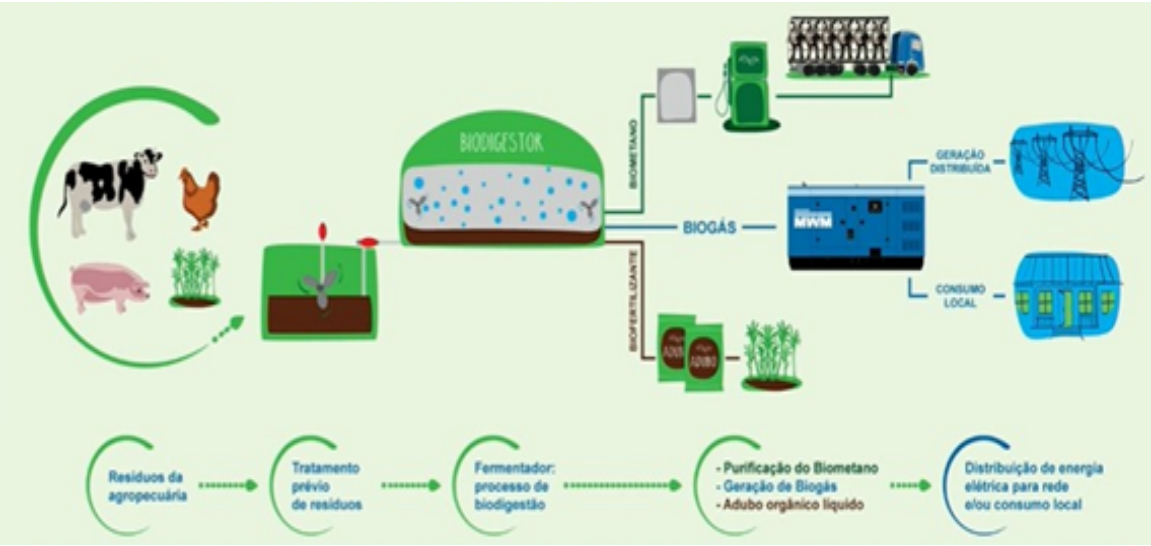

Figura 1. Fluxograma da biodigestão anaeróbia (VIII Fórum do Biogás, 2021).

Segundo Kunz et al. (2005), a biodigestão anaeróbia é um processo sensível e pode ser dividido em quatro fases:

a) Hidrólise – nesta fase, as enzimas hidrolíticas degradam as moléculas complexas dos substratos solúveis em pequenas moléculas. Essas moléculas são transportadas para o interior dos micro-organismos e metabolizadas (OLIVEIRA, 2004). Nesta fase, ocorre a transformação de proteínas em aminoácidos, de polissacarídeos em açúcares solúveis e de lipídios em ácidos graxos e glicerol (SOUZA, 2005);

b) Acidogênese – os produtos gerados na primeira fase são transformados em ácidos orgânicos (acético, propiônico, butírico, isobutírico, fórmico), hidrogênio (H_2) e dióxido de carbono (CO_2) (OLIVEIRA, 2004). Esta fase não é necessariamente realizada por bactérias anaeróbias, algo considerado vantajoso para o processo, visto que assim se garante um ambiente isento de oxigênio, essencial para as bactérias metanogênicas;

c) Acetogênese – as bactérias acetogênicas, denominadas como produtoras de hidrogênio, convertem os produtos gerados da acidogênese em H_2, CO_2, acetato e ácidos orgânicos de cadeia curta (SOUZA, 2005);
d) Metanogênese – finalmente, as bactérias metanogênicas convertem os ácidos orgânicos de cadeia curta, CO_2 e H_2 em metano (CH_4) e CO_2 (OLIVEIRA, 2004). Segundo Nogueira (1992), 70% do metano formado provêm do acetato e o restante do dióxido de carbono e hidrogênio.

Os sistemas de biodigestão são muito interessantes do ponto de vista econômico e ambiental, visto que, além da produção do biofertilizante, é possível o aproveitamento energético dos gases gerados no processo de biodigestão anaeróbia (BARICHELLO et al., 2015), em substituição ao gás liquefeito do petróleo (GLP), lenha e gasolina como combustível para geração de energia elétrica, na alimentação de motores e na geração de energia térmica (OLIVEIRA, 2004). No Brasil, a biomassa de origem animal e vegetal gerada pela agroindústria possui, por meio da biodigestão, grande potencial de produção de biogás, sendo o gás metano o mais importante e cuja queima possibilita a geração de energia elétrica por meio do uso de conjuntos de motogeradores (MATHIAS, 2015; GOMES, 2017).

Segundo Barros (2021), quanto maior o teor de metano, mais puro é o biogás, ao mesmo tempo que, o gás sulfídrico (H_2S), também formado na biodigestão anaeróbia, é o responsável pelo odor pútrido do gás e pode ocasionar corrosão nos componentes do sistema. Conforme a Tabela 2, entre os principais gases produzidos, estão: CH_4, CO_2, H_2, H_2S, o gás nitrogênio (N_2) e outros gases (OLIVEIRA, 2004).

Tabela 2. Composição do Biogás

Gases	Teores (%)
Metano	55-70
Dióxido de Carbono	27-45
Nitrogênio	3-5
Hidrogênio	1-10
Oxigênio	0,1
Monóxido de Carbono	0,1
Sulfeto de Hidrogênio	Traços

Fonte: Adaptado de Oliveira (2004).

Em resumo, além da produção de biofertilizante, os biodigestores captam gases do efeito estufa (GEE) liberados durante a decomposição e, por meio de filtros de purificação e geradores, esses gases são convertidos em fontes de energia (térmica, elétrica, combustível), que podem ser exploradas pela própria granja, como por exemplo, a geração de eletricidade e o seu uso interno na propriedade, processo cíclico e sustentável e que se insere na economia circular, conforme a Figura 2.

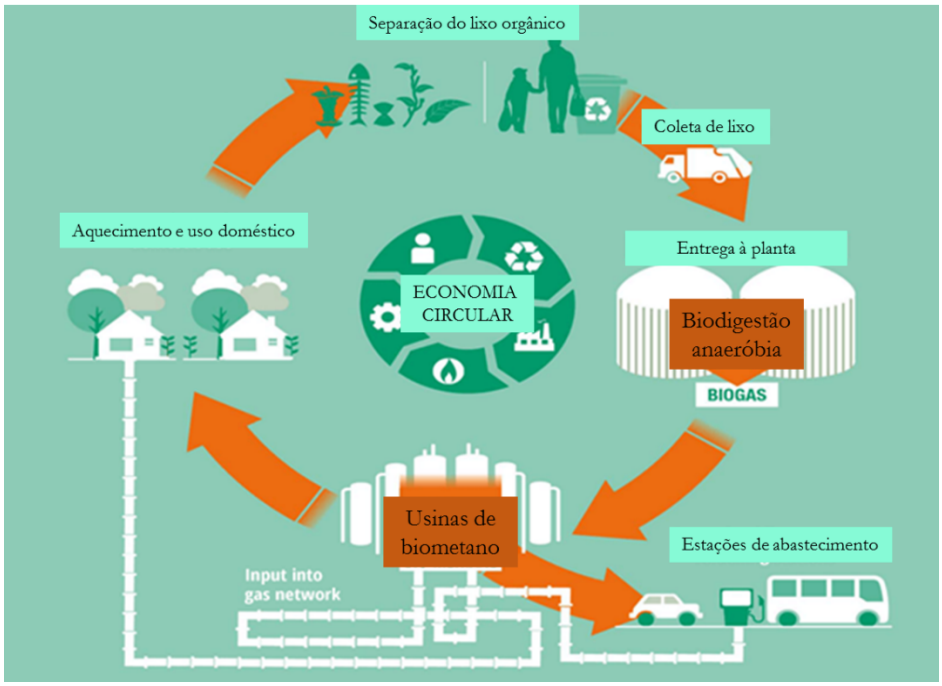

Figura 2. Economia circular (BIOMETHER, 2017).

O aproveitamento dos DS sob a forma de biogás é apenas uma das vantagens da biodigestão anaeróbia, podendo ser citados a redução de odores, eliminação de patógenos, redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), produção de biofertilizante, baixa produção de lodo, baixos custos operacionais e de investimento e possibilidade de sistemas descentralizados de reciclagem de dejetos (OLIVEIRA, 2004).

O biofertilizante, material orgânico proveniente da reciclagem dos DS após passagem pelos biodigestores, é rico em húmus e atua na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, na medida em que favorece a correção da sua acidez, pois, de forma geral, possui pH alcalino (7,5), proporciona melhor estrutura e atividade microbiológica (enriquece a microbiota do solo), permite maior retenção de umidade e maior porosidade do solo e fornece nutrientes minerais como N, P e K (CRAVEIRO et al., 1982).

Há de se levar em consideração os processos de perdas e segregação de nutrientes que podem ocorrer no biodigestor. De maneira geral, perdas de 50-60% do N por volatização são esperadas para dejetos de suínos tratados por biodigestão, ao considerar-se também o armazenamento do digestato antes da sua aplicação no solo (FATMA, 2014). Para os demais nutrientes, não há perdas consideráveis, embora a segregação dos nutrientes entre os diferentes tipos de efluentes de biodigestores (ex.: lodo, digestato líquido etc.) deva ser considerada. Vivan et al. (2010) não observaram variação significativa na concentração de N total e amoniacal e P entre o afluente (dejeto líquido de suínos) e o biofertilizante oriundo de um biodigestor de lagoa coberta com tempo de retenção hidráulica (TRH) de 45 dias. Porém, a qualidade do biofertilizante e o seu potencial para uso agronômico depende de outros diversos fatores, tais como: (a) tipo de biodigestor e tecnologia de biodigestão utilizada; (b) segregação e perdas de nutrientes nas estruturas de armazenamento dos substratos e do digestato; (c) eficiência dos sistemas pré-tratamento do substrato (ex.: separação de fases antes do biodigestor) e/ou do tratamento do digestato; e (e) diluição do substrato com água (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

Além das diferenças na composição química e variabilidade entre os substratos, as diferentes proporções das misturas de substratos a serem utilizadas na alimentação do biodigestor também terão impacto preponderante na composição de nutrientes do digestato. Portanto, cada projeto deverá contar com uma análise específica para

determinar a oferta e o teor de nutrientes do digestato disponível para reciclagem como fertilizante na agricultura (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

Em suma, é possível afirmar que os DS reciclados de fato têm potencial para a adubação, ponto de extrema relevância no cenário nacional e internacional do agronegócio, marcado pelo reajuste expressivo do preço médio dos agroquímicos e crise de abastecimento. O modelo de reciclagem pelo qual obtém-se esse biofertilizante não só elimina o passivo ambiental do processo, ao adequar a carga orgânica e de patógenos do composto a ser incorporado no solo e captar gases que fomentam o efeito estufa, como também disponibiliza, através da produção do biogás, fonte renovável de energia ao longo de um processo marcado pela sustentabilidade.

Portanto, frente à relevância do tema em questão, dado o momento atual crítico para o agronegócio, às inúmeras vantagens inerentes ao processo de biodigestão anaeróbia, ao fato que a Fazenda Santa Rosa, alvo deste estudo, adota esse sistema e ao caráter sustentável desse modelo de reciclagem, a elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Agronômica pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" acerca desse assunto foi de fácil escolha e árdua responsabilidade.

2. OBJETIVOS

2.1. Gerais

O estudo de caso, cujo conteúdo refere-se à utilização do dejeto de suíno biodigerido como adubo, visou oferecer alternativas ao uso de fertilizantes minerais, promover um processo que transforma um passivo ambiental em ativo econômico e fomentar uma prática de adubação sustentável ainda pouco explorada e difundida no país.

2.2. Específicos

Com relação à Fazenda Santa Rosa, o estudo avaliou o potencial dos dejetos reciclados por meio da biodigestão anaeróbia como uma alternativa viável para a prática de adubação na propriedade. Logo, o propósito foi aferir o potencial do biofertilizante disponível na propriedade frente às demandas do solo e das culturas de interesse ali exploradas e estimar a economia com a compra de fertilizantes convencionais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo de caso desenvolvido na Fazenda Santa Rosa em Leme-SP avaliou, a partir de análise de solo, das exigências nutricionais das duas espécies de gramíneas forrageiras exploradas na propriedade e análise química do biofertilizante, a viabilidade e potencial dos DS reciclados por meio da biodigestão anaeróbia como adubo de plantio. É válido ressaltar que, apesar de não terem sido feitas quaisquer análises de desempenho do biofertilizante disponível na propriedade anteriormente, esse já era lançado no solo da fazenda periodicamente. Portanto, para o estudo, foi considerada apenas área que não havia recebido o efluente.

A metodologia foi dividida em quatro etapas. Para a primeira, foi feita a caracterização da propriedade em que o estudo foi conduzido e, para tal, foram coletados dados e informações do sistema da empresa, a qual autorizou a sua concessão. Essa etapa abrangeu, no primeiro momento, a caracterização geográfica e espacial da fazenda, a descrição das atividades ali desenvolvidas e a forma de ocupação das áreas do imóvel. Posteriormente, calculou-se, com base no número de animais da granja e nos valores encontrados por Oliveira (1993), a produção diária de dejetos na propriedade. Também foi feita a caracterização do sistema de fertirrigação adotado e dos biodigestores que ali operavam para a reciclagem dos DS. Para o cálculo da vazão de alimentação dos biodigestores, utilizou-se a fórmula proposta por Kunz et al., (2019):

$$\mathbf{TRH = V/Q}$$

Em que:

TRH = Tempo de retenção hidráulica;

V = Volume do biodigestor;

Q = Vazão de alimentação.

A segunda etapa do estudo consistiu na análise do solo de interesse. Foi considerada apenas a área da fazenda em que não se lançava o biofertilizante. O solo da área foi coletado e encaminhado ao Instituto Brasileiro de Análises (IBRA), que conduziu sua análise química e física conforme metodologia do Instituto Agronômico de Campinas (IAC – CAMARGO et al., 2009). Com base nos resultados e nos valores limites de nutrientes determinados pelo IAC para solos do estado de São Paulo, foi feita interpretação da análise. Por fim, consoante ao triângulo textural proposto por Lemos e Santos (1996), classificou-se o solo quanto a sua textura.

A terceira etapa referiu-se a levantamento bibliográfico acerca das características físicas e morfológicas, parâmetros de produção e recomendação de adubação para a formação de pastagens com as gramíneas *Panicum maximum* cv Miyagui e *Pennisetum glaucum* em sistema de consórcio no solo analisado. A dose de cada nutriente necessária para a formação das espécies forrageiras foi determinada conforme a recomendação do Boletim 100 do IAC (RAIJ et al., 1997). Para o cálculo da necessidade de calagem, adotou-se a fórmula utilizada por Aguiar et al. (2014):

$$\mathbf{NC\ [ton/ha] = (V2-V1)*T/\ 10*PRNT}$$

Em que:

V2 = saturação por bases desejada;

V1 = saturação por bases atual (análise de solo);

T = capacidade de troca catiônica [soma: $Ca^{2}+$, $Mg^{2}+$, K+, (H + Al)], em mmolc.dm-^{3};

PRNT = poder relativo de neutralização total do calcário a ser aplicado.

A quarta e última etapa do estudo consistiu na análise química do biofertilizante disponível na propriedade. Para a sua avaliação, foi feita a coleta em dia não chuvoso e em múltiplos pontos das lagoas de estabilização, de uma

em uma hora, ao longo de 6 horas, conforme orientação técnica da equipe do Plantec, laboratório terceiro responsável pela análise e que a conduziu conforme metodologia de Baird; Eaton e Rice (2017).

Com base nas análises do solo e do biofertilizante e nas exigências das gramíneas, foi possível calcular a taxa de aplicação do biofertlizante necessária para a formação das espécies forrageiras a partir da equação de Nicoloso et al., (2016):

$$\mathbf{A = QD / (C*D)}$$

Em que:

A = dose do adubo orgânico (líquido) a ser aplicado no solo, expressa em m^3/ha;

QD: quantidade de N, P_2O_5 ou K_2O exigida pela cultura, expressa em kg/ha;

C = concentração de N, P_2O_5 ou K_2O no adubo orgânico, expressa em kg/m^3;

D = índice de eficiência agronômica do nutriente no adubo orgânico.

Por fim, frente à dose de biofertilizante encontrada e seu aporte de nutrientes no solo, estimou-se a economia com a compra de fertilizantes minerais gerada pelo aproveitamento agronômico dos DS reciclados como adubo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização da propriedade

4.1.1. Fazenda Santa Rosa

Localizada na Estrada Luiz Fernando Marchi, s/ n° - km 06 – Zona Rural, no município de Leme-SP (23°47'13" S, 48°33'24" W), a Fazenda Santa Rosa abrigava a Soft Pig, empresa de alimentos do ramo suinícola fundada em 1997. Sua cadeia destacava-se pela produção verticalizada, visto que era composta por granja de suínos, fábrica de ração, frigorífico, indústria de processamento de carne e transporte e distribuição do produto.

A fazenda comportava todo o sistema de produção animal da empresa, porém, compreendia outras atividades além da pecuária. A sua área total era de aproximadamente 430 hectares e era composta por duas áreas principais delimitadas pelas linhas azul e rosa (Santa Rosa e Santo Antônio, respectivamente) e 3 sítios, sendo 2 deles (Santo Expedito e São José) anexos, conforme a Figura 3.

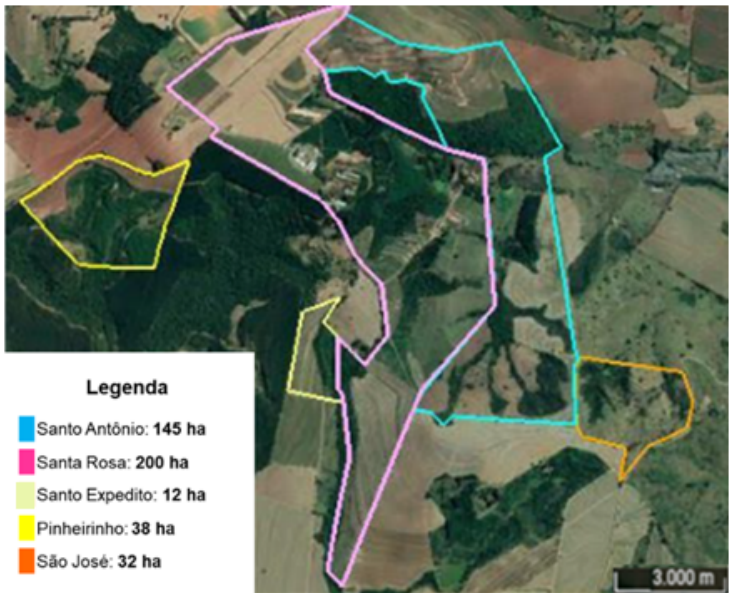

Figura 3. Foto aérea - Fazenda Santa Rosa (Soft Pig, 2022)

Ao considerar as duas áreas principais (Santa Rosa e Santo Antônio) e os dois sítios anexos (Santo Expedito e São José), a fazenda possuia área agricultável (Figura 4) de aproximadamente 230 hectares e solo predominantemente tipo I – arenoso. Por ocasião do presente estudo, 90 hectares da porção norte das duas áreas principais da fazenda estavam arrendadas, com término previsto para o final de 2022, porém, a propriedade abrangia aproximadamente 100 hectares de floresta comercial (pinus e eucalipto) e cultivo de 60 hectares de *Panicum maximum* cv. Miyagui em consórcio com Milheto Forrageiro híbrido ADRF 6010 Valente, e contava com a expansão dessa área com a implantação de mais 90 hectares dessas mesmas gramíneas na porção arrendada após término do contrato, totalizando 150 hectares de espécies forrageiras.

A expansão do cultivo das plantas forrageiras foi de grande interesse deste estudo, uma vez que se avaliou o poder de adubação dos DS reciclados frente à formação dessas gramíneas. Ou seja, a área arrendada foi alvo do estudo, pois, nos outros 60 hectares da fazenda com as gramíneas estabelecidas, já se aplicava o biofertilizante

anteriormente, o que comprometeria a avaliação do seu potencial devido a alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

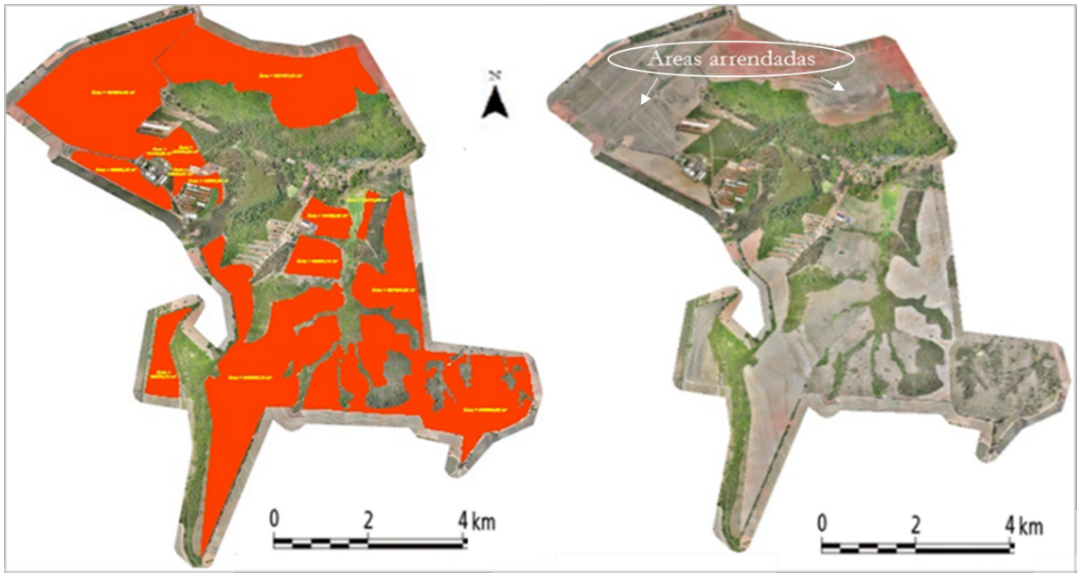

Figura 4. Área agricultável - Fazenda Santa Rosa (Soft Pig, 2022).

A fazenda apresentava elevada produção do biofertilizante, efluente estabilizado proveniente da reciclagem dos dejetos gerados pela produção suinícola e, para tal, conta com 4 biodigestores de 2400 m³ cada. A propriedade contava também com um biodigestor, alimentado apenas com os resíduos do frigorífico e da indústria. Após a reciclagem desses resíduos, se fazia a reutilização da água do sistema para a limpeza das baias da granja. Contudo, dado o foco e o objetivo deste estudo, não foi feita a caracterização desse biodigestor.

Os gases produzidos e retidos nos biodigestores durante a decomposição anaeróbia dos DS na granja Soft Pig eram purificados e, por meio de geradores, convertidos em energia elétrica e térmica. Tais fontes eram então utilizadas pela própria empresa para manutenção de suas atividades e de forma autossuficiente. Ou seja, a demanda energética da propriedade era atendida em sua totalidade pela produção de biogás. Já os DS reciclados eram direcionados a lagoas de estabilização, onde ficavam disponíveis para serem empregados como adubo na forma líquida via fertirrigação.

4.1.1.1. Fertirrigação

A fazenda possuia meios de transportar e lançar os DS reciclados ao longo de toda a sua área agricultável, o que era de extrema importância dado o grande volume de biofertilizante que produzido, pois assim se garante maior homogeneidade na sua distribuição, o que previne a saturação do solo.

Para o lançamento do material no solo, adotava-se sistema de fertirrigação, no qual eram utilizados dois carreteis (enroladores) autopropelidos com canhões aspersores e, em vista da expansão do cultivo das forrageiras, foi feita aquisição de pivô central de 300 metros de raio e outro carretel (enrolador) autopropelido que, somado aos dois primeiros, possuia, por meio de adutoras, alcance para irrigar toda a área agricultável da propriedade, conforme a Figura 5.

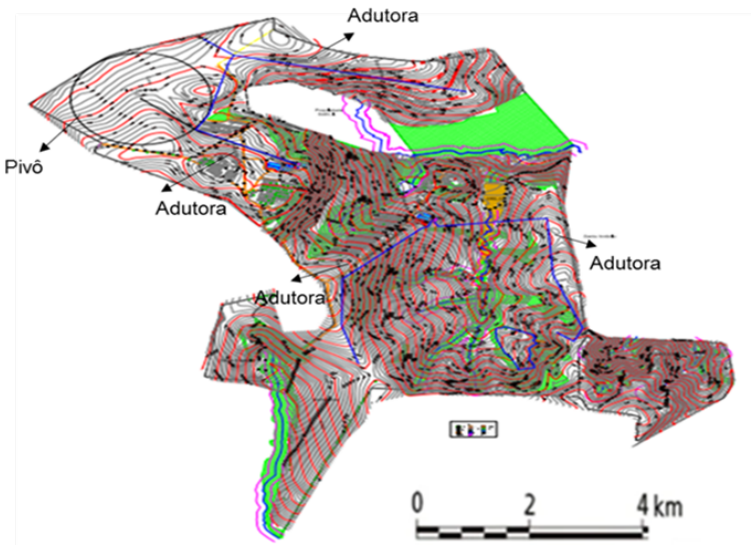

Figura 5. Planta planialtimétrica com as linhas de irrigação da propriedade. (Soft Pig, 2022).

O círculo em preto delimita a área sob o pivô central e as linhas em azul identificadas pelas setas marcam a posição das adutoras: tubulações ou encanamentos cuja função é conduzir o efluente das lagoas de estabilização até as estruturas de irrigação (pivô e carreteis) para sua aplicação no solo.

Portanto, o conjunto de irrigação era o que possibilitava o transporte e a distribuição homogênea do biofertilizante na fazenda e, consequentemente, o que viabilizava a adubação para a formação das gramíneas forrageiras na área de expansão, ponto crucial para este estudo.

4.1.2. Granja de Suínos

A granja de suínos da fazenda compreendia um sistema produtivo de ciclo completo e dividia-se em Unidade Produtora de Leitão (UPL), com capacidade para alojar 393 porcas em lactação e 1.510 porcas em gestação, Unidade de Creche (UC), com capacidade para alojar 6.900 leitões desmamados e Unidade de Terminação (UT), com capacidade para alojar aproximadamente 15.000 animais.

A granja apresentou, no mês de março de 2022, um estoque de 24298 animais, com plantel reprodutivo de 1878 suínos e dos quais 1707 eram matrizes, 159, marrãs e 12, cachaços. A UC abrigava 5254 leitões, enquanto a UT, 13962 animais, sendo o desmame feito, em média, após 28 dias de lactação e a permanência dos animais na Creche, cerca de 42 dias.

A granja apresentou, no ano de 2021, 2,42 partos por fêmea e 13,66 animais nascidos vivos por parto, o que representa 33,05 animais nascidos vivos por fêmea no ano, enquanto o número de desmamados por fêmea no ano foi igual a 30,2 animais. Ou seja, foram desmamados 91% do total de animais nascidos vivos por fêmea em 2021.

4.1.2.1. Volume de dejetos

Com base nos valores encontrados por Oliveira (1993) e no levantamento do número de animais da granja, foi possível estimar a produção diária de dejetos na fazenda, conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Estimativa de produção diária de dejetos por suíno em casa fase de desenvolvimento na fazenda Santa Rosa

Fase	N° animais	Dejetos líquidos por animal (l/dia) *	Total (l/dia)	Total (m^3/dia)
Porcas em lactação	272	27,00	7.344	7,344
Porcas em gestação	1435	16,00	22.960	22,96
Marrãs em crescimento	159	7,00	1.113	1,113
Animais na terminação	13962	7,00	97.734	97,734
Animais na Creche	5254	1,40	7.355,6	7,356
Cachaços	12	9,00	108	0,108
Total	21094	67,4	136.614,6	136,615

* Oliveira (1993).

Logo, concluiu-se que os animais da granja produziam, em média, um total de 136,615 m^3 de dejetos líquidos por dia. Contudo, esse valor ainda não representa a real carga de substrato direcionada aos biodigestores diariamente, pois não se considerou no cálculo a água utilizada para limpeza de baias (água de reuso) e a que era desperdiçada nos bebedouros, que diluem os dejetos e acrescem volume.

4.1.2.2. Biodigestores

Para a correta caracterização dos biodigestores da propriedade, foram necessários os seguintes conceitos:

(a) BLC (biodigestor de lagoa coberta): tanque escavado no solo (Figura 6), impermeabilizado e coberto com material geossintético (PVC, PEAD etc.) caracterizado pela baixa permeabilidade a fluídos e gases, e suficientemente flexível para acumular biogás (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019);

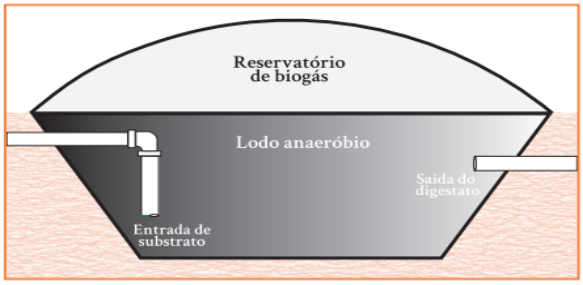

Figura 6. Esquema representativo da visão interna do reator modelo lagoa coberta (Kunz, 2019).

(b) TRH (tempo de retenção hidráulica): tempo médio em que o substrato permanece no interior do biodigestor, ou seja, é a razão entre o volume do biodigestor e a vazão de alimentação (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019);

(c) Sistema de agitação: processo mecânico, hidráulico ou pneumático cujo intuito é promover contato íntimo entre os microrganismos e a matéria orgânica, para que a produção de biogás seja potencializada e para uma melhor digestão da matéria orgânica (CRAVEIRO et al., 1982; NOGUEIRA, 1992);

(d) Regime de alimentação: refere-se à frequência de operação do biodigestor e divide-se em batelada ou contínuo. No primeiro, os biodigestores operam de forma descontínua, ou seja, são alimentados de uma vez só, com uma grande quantidade de matéria orgânica e, depois, são fechados hermeticamente. No segundo, o biodigestor já fechado é alimentado sucessivamente por meio de dutos. (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019);

(e) Forma de alimentação: refere-se ao fluxo de entrada de substrato no biodigestor e divide-se em ascendente ou laminar (NOGUEIRA, 1992);

(f) Substrato: nome dado ao material no interior do biodigestor (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019);

(g) Digestato: nome dado ao material após passagem pelo biodigestor (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

Na propriedade, os quatro biodigestores alimentados com os DS da granja eram de lagoa coberta (também comumente denominados como modelo canadense) e possuiam dimensões (Figura 7) e volumes iguais (2400 m³ cada). Sua estrutura, com base retangular de seção trapezoidal, consistia em um tanque escavado no solo coberto por cúpula de PEAD que se expandia ao reter biogás no interior do reator. Possuiam um duto de entrada de substrato e um de saída de digestato e eram alimentados de forma laminar sob regime contínuo.

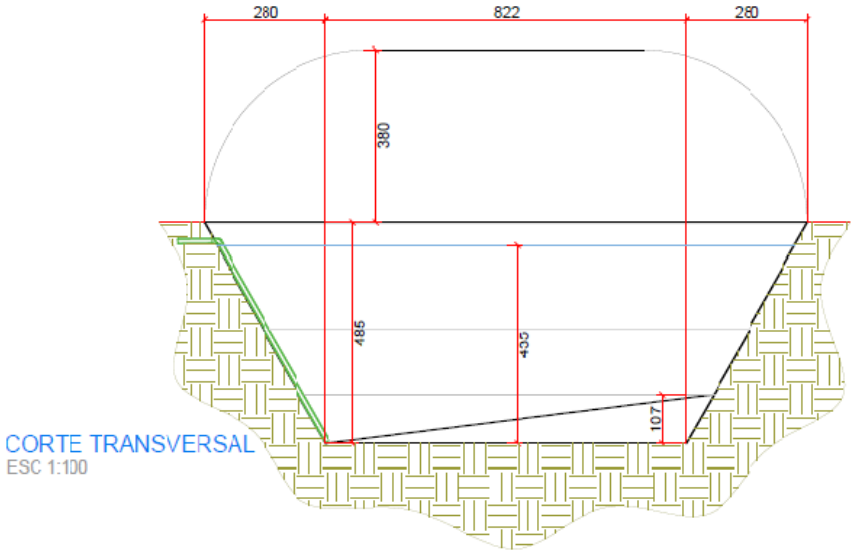

Figura 7. Corte transversal dos biodigestores da propriedade (Soft Pig, 2022).

Segundo Kunz et al. (2019), nesse modelo de biodigestor, devido ao regime hidráulico do reator e, geralmente, pela não utilização de um sistema de remoção de sólidos previamente instalado ao BLC, haverá uma tendência de acúmulo de lodo no fundo do tanque, criando a necessidade de descarte (limpeza). A separação de fases é, portanto, bem interessante do ponto de vista estrutural e de eficiência de produção de biogás (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

Para otimizar a produção de biogás e prevenir o assoreamento do reator, eram utilizadas algumas estratégias nos biodigestores da fazenda. Uma delas era a separação das fases líquida e sólida dos DS através de caixas (de alvenaria) de decantação na entrada dos biodigestores, sendo duas caixas ao todo, uma para cada dois biodigestores. Também foram construídas barreiras físicas no interior dos reatores para a retenção de lodo que, apesar da separação prévia de fases, ainda tendia a se acumular. Bombas hidráulicas (uma para cada dois biodigestores) realizavam a sucção do lodo acumulado e o direcionavam novamente para a caixa de decantação. Ademais, para cada biodigestor da propriedade, foi instalada bomba hidráulica de recirculação de substrato, o que configura um sistema de agitação hidráulico. Nesse sistema, as bombas captam o substrato e injetam-no novamente no reator, conforme a Figura 8. A agitação é crucial para o aumento na distribuição de substratos, nutrientes, enzimas e microrganismos no biodigestor. Também colabora para eliminação/diminuição de crostas e otimiza a liberação do biogás presente no lodo (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

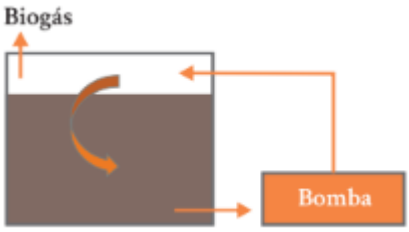

Figura 8. Representação esquemática de sistema de agitação hidráulico de substrato (KUNZ, 2019).

O TRH do substrato no interior de cada biodigestor da fazenda era de, em média, 27 dias. Logo, com TRH de 27 dias e V de 2400 m³, obtém-se vazão de alimentação (Q) de, em média, 88,88 m³/dia. Sendo quatro biodigestores, é possível estimar que, no total, a vazão média de substrato direcionado aos biodigestores era de 355,52 m³/dia.

A produção de biofertilizante da fazenda pode ser calculada ao multiplicar-se o TRH médio do substrato no interior dos biodigestores pela vazão média diária (Q). Logo: 355,52 m³/dia x 27 dias = 9600 m³, ou seja, a cada 27 dias, 9600 m³ do composto são produzidos.

4.2. Análise do solo

Com relação à coleta de solo da área de arrendamento da fazenda, alvo da expansão do cultivo das forrageiras em sistema de consórcio, foi analisado solo de apenas uma das áreas arrendadas (Santo Antônio Norte) pois, no solo da outra área (Santa Rosa Norte), já se havia lançado os dejetos reciclados anteriormente, o que comprometeria a análise em decorrência de alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos. Ou seja, dos 90 hectares da área de expansão, considerou-se, para este estudo, apenas 40 hectares, conforme a Figura 9.

Figura 9. Área da fazenda destinada à expansão do cultivo das gramíneas forrageiras (Soft Pig, 2022).

Os resultados das análises no solo (Tabela 4) referem-se às camadas de 0 a 20 cm, 0 a 40 cm e 0 a 60 cm do solo da área de interesse.

Tabela 4. Análise de solo da área Santo Antônio Norte

Determinações	Parâmetros	Resultados		
		0-20 cm	0-40 cm	0-60 cm
pH	$CaCl_2$	4,5	4,5	4,3
Matéria orgânica (g/dm³)	Oxidação	6	5	5
Carbono orgânico total (g/dm³)	Cálculo	3	3	3
Fósforo (mg/dm³)	Resina	19	24	12
Potássio (mmolc/dm³)	Resina	0,9	0,9	0,9
Cálcio (mmolc/dm³)	Resina	8	8	9
Magnésio (mmolc/dm³)	Resina	3	3	2
Sódio (mmolc/dm³)	Mehlich	0,3	0,3	0,4
Alumínio (mmolc/dm³)	KCl	0	0	0
Soma de Bases (mmolc/dm³)	Cálculo	12,2	12,2	12,3
Hidrogênio+Alumínio (mmolc/dm³)	Cálculo	20	21	21
Capacidade de troca de cátions efetiva (mmolc/dm³)	Cálculo	12,2	12,2	12,3
Capacidade de troca de cátions (mmolc/dm³)	Cálculo	32,2	33,2	33,3
Saturação por alumínio ou m% (%)	Cálculo	0	0	0
Saturação por bases ou V% (%)	Cálculo	37,9	37	37
Enxofre (mg/dm³)	Fosfato de Cálcio	8	9	13
Boro (mg/dm³)	Água quente	0,14	0,13	0,26
Cobre (mg/dm³)	DTPA	1,7	1,2	0,8
Zinco (mg/dm³)	DTPA	2,1	1,3	1,6
Ferro (mg/dm³)	DTPA	68	46	31
Manganês (mg/dm³)	DTPA	19,2	12,2	9,8
Argila (g/kg)	HMFS+NaOH	89	131	141
Silte (g/kg)	HMFS+NaOH	27	54	82
Areia (g/kg)	HMFS+NaOH	884	815	777

Mediante aos valores encontrados, foi feita interpretação da análise conforme os parâmetros seguidos pelo IAC para solos do estado de São Paulo.

Para a interpretação dos valores de fósforo e potássio do solo analisado, foi utilizada a Tabela 5.

Tabela 5. Limites de interpretação de teores de potássio e de fósforo em solos do estado de São Paulo

Teor	**Produção**	**K^+ trocável**	**P resina**			
			Florestais	**Perenes**	**Anuais**	**Hortaliças**
	%	mmolc/dm³	mg/dm³			
Muito baixo	0-70	0,0-0,7	0-2	0-5	0-6	0-10
Baixo	71-90	0,8-1,5	3-5	6-12	7-15	11-25
Médio	91-100	1,6-3,0	6-8	13-30	16-40	26-60
Alto	>100	3,1-6,0	9-16	31-60	41-80	61-120
Muito Alto	>100	>6,0	>16	>60	>80	>120

Fonte: Adaptado de Raij et al. (1997).

Com relação à acidez dos solos, o pH e a saturação por bases (V%) apresentam estreita correlação entre si. Para a interpretação dos valores de pH em $CaCl_2$ e da saturação por bases do solo analisado, foi utilizada a Tabela 6.

Tabela 6. Limites de interpretação das determinações relacionadas com a acidez do solo

Acidez	pH em $CaCl_2$	Saturação por bases	V
			%
Muito alta	Até 4,3	Muito baixa	0-25
Alta	4,4-5,0	Baixa	26-50
Média	5,1-5,5	Média	51-70
Baixa	5,6-6,0	Alta	71-90
Muito baixa	>6,0	Muito Alta	>90

Fonte: Adaptado de Raij et al. (1997).

Para interpretação dos teores de cálcio, magnésio e enxofre do solo analisado, foi utilizada a Tabela 7.

Tabela 7. Limites de interpretação de teores de Ca^{2+}, Mg^{2+} e $SO4^{2-}$ em solos do estado de São Paulo

Teor	Ca^{2+} trocável	Mg^{2+} trocável	$S\text{-}SO4^{2-}$
	mmolc/dm³		mg/dm³
Baixo	0-3	0-4	0-4
Médio	4-7	5-8	5-10
Alto	>7	>8	>10

Fonte: Adaptado de Raij et al. (1997).

Para interpretação dos teores de micronutrientes do solo analisado, foi utilizada a Tabela 8.

Tabela 8. Limites de interpretação dos teores de micronutrientes em solos do estado de São Paulo

Teor	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	Água quente	DTPA			
	mg/dm³				
Baixo	0-0,2	0-0,2	0-4	0-1,2	0-0,5
Médio	0,21-0,6	0,3-0,8	5-12	1,3-5	0,6-1,2
Alto	>0,6	>0,8	>12	>5	>1,2

Fonte: Adaptado de Raij et al. (1997).

4.2.1. Interpretação da análise

Mediante aos parâmetros do IAC supramencionados, foi feita a interpretação da análise do solo, conforme a Tabela 9.

Tabela 9. Interpretação de análise do solo conforme critérios seguidos pelo IAC

Interpretação de resultados												
Camada	Acidez	P	K	Ca	Mg	S	V	B	Cu	Zn	Fe	Mn
cm	$CaCl_2$	mg/dm³	mmolc/dm³			mg/dm³	%	mg/dm³				
0-20	Alta	Médio	Baixo	Alto	Baixo	Médio	Baixo	Baixo	Alto	Alto	Alto	Alto
0-40	Alta	Médio	Baixo	Alto	Baixo	Médio	Baixo	Baixo	Alto	Alto	Alto	Alto
0-60	Alta	Baixo	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Médio	Médio	Alto	Alto	Alto

4.2.2. Classificação textural

Para a classificação da textura do solo, foi utilizado o triângulo textural proposto por Lemos e Santos (1996), conforme a figura 10.

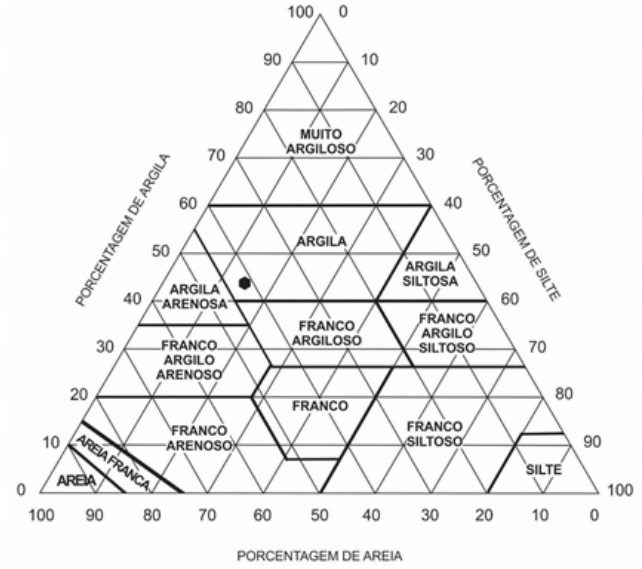

Figura 10. Triângulo textural do solo. (Lemos e Santos, 1996).

Com base nos teores de argila (14,1%), silte (5,4%) e areia (77,7%) da camada de 0 a 60 cm do solo, foi possível classificá-lo como areia franca.

4.3. Espécies forrageiras

4.3.1. Pennisetum glaucum

O milheto é uma forrageira anual de hábito ereto e porte alto, com desenvolvimento rápido (o início da utilização para pastejo pode se dar entre 30 e 40 dias após a emergência) e uniforme e bom perfilhamento. Por ser capaz de produzir bem mesmo em solos relativamente pobres, é considerada uma planta adaptada a baixa fertilidade e déficit hídrico, contudo, responde melhor em solos mais férteis ou adubados (KICHEL; MIRANDA, 2000).

A espécie, atóxica aos animais em qualquer estádio vegetativo, pode apresentar até 24% de proteína bruta, ou seja, alto valor nutritivo, e boa palatabilidade e digestibilidade (60% a 78%) em pastejo. É também uma alternativa para ensilagem, principalmente em regiões com problemas de veranico ou seca. Referente ao potencial de produção de forragem: 60 toneladas de massa verde e 20 toneladas de matéria seca por hectare (KICHEL; MIRANDA, 2000).

O ideal é que o plantio ocorra na primavera, até outubro. Isso porque é neste momento em que ocorrem as primeiras chuvas e o ambiente está ideal, além de haver umidade suficiente para a emergência (KICHEL; MIRANDA, 2000).

Devido ao seu sistema radicular vigoroso (até 3 metros), é uma planta que contribui na descompactação do solo e que realiza intensa extração e ciclagem de nutrientes. A ciclagem promove o acúmulo de algumas substâncias na

camada superior do solo, como cálcio, nitrogênio e potássio que, por sua vez, controlam nematoides (HILGROVE, 2016).

Frente às características do milheto e vantagens do seu cultivo, tais como o rápido desenvolvimento, boa resposta à adubação, sistema radicular vigoroso e elevada extração e ciclagem de nutrientes, é evidente que o cultivo da espécie forrageira está alinhado com o aproveitamento dos DS reciclados como adubo. Como a produção de biofertilizante na fazenda é muito rápida e em quantidades significativas, é imprescindível que o solo em que se lança o efluente seja ocupado por cultura de ciclagem e extração dinâmica e eficiente de nutrientes que podem se acumular e saturar o solo.

4.3.2. *Panicum maximum* cv. Miyagui

Segundo a Associação Nacional de Produtores de Sementes Forrageiras (ANPROSEM, 2019), a espécie *Panicum maximum* cv. Miyagui, usualmente denominada Capim Miyagui, trata-se de uma planta forrageira cespitosa de crescimento ereto, ciclo perene, porte médio a alto (até 2,50 m de altura), com intenso perfilhamento basal. As folhas, de coloração verde escura, podem atingir 120 cm e 5 cm de largura.

A espécie forrageira pode ser utilizada para pastejo direto, rotacionado ou para produção de silagem e trata-se de um cultivar *Panicum maximum* exigente em fertilidade que produz de 25 a 30 toneladas de matéria seca por hectare por ano. Sua rebrota ocorre em até 28 dias na época chuvosa. Apresenta acentuada palatabilidade e digestibilidade, tolerância média à seca e teor de proteína bruta entre 8 e 14 % na MS. (ANPROSEM, 2019).

Em decorrência da extensa área foliar, intenso perfilhamento, rápida rebrota, ciclo perene e alta exigência em fertilidade do solo, a espécie também possui importante papel na ciclagem e extração de nutrientes que podem acumular no solo com o lançamento dos DS reciclados.

Portanto, o cultivo dessas duas espécies forrageiras em sistema de consórcio é uma estratégia interessante para maximizar o lançamento dos dejetos reciclados no solo e o seu potencial para adubação, ao mesmo tempo em que se reduz os riscos de contaminação e saturação do solo.

4.3.3. Recomendação de adubação

Segundo Pereira et al. (2007), existem quatro princípios básicos para a consorciação de culturas:

(a) Cultura principal consorciada com cultura secundária: sistema com uma cultura de maior expressão e outra de menor (exemplo: milho x guandú);
(b) Culturas com produtos semelhantes: sistema com culturas que possuem a mesma finalidade (exemplo: gramíneas para produção de forragem, cereais para alimentação animal etc.);
(c) Culturas para propósitos diferentes: sistema com culturas que possuem finalidades diferentes (exemplo: milho x soja);
(d) Combinações com culturas modificadoras: sistema no qual uma das culturas tem por finalidade aprimorar as condições do solo (exemplo: milho x leguminosa que incorpora e recicla nutrientes).

A consorciação entre as gramíneas *Panicum maximum* cv. Miyagui e *Pennisetum glaucum* configura, portanto, um sistema de culturas com produtos semelhantes, uma vez que ambas as espécies são forrageiras. Em vista disso, como as culturas são de mesma expressão, a adubação é realizada com doses de nutrientes recomendadas para a espécie mais exigente, que é, nesse caso, a primeira.

Segundo Werner et al. (1996), as espécies forrageiras são divididas conforme as suas exigências nutricionais em três grupos: (a) Grupo I - espécies exigentes em fertilidade do solo; (b) Grupo II - espécies moderadamente exigentes em fertilidade do solo; (c) Grupo III - espécies pouco exigentes em fertilidade do solo. As gramíneas *Panicum Maximum* cv. Miyagui e *Pennisetum glaucum* encaixam-se no Grupo I e Grupo III, respectivamente. Ou seja, a primeira é exigente quanto à fertilidade do solo e a segunda, pouco exigente. Destarte, a recomendação para correção e adubação do solo foi referente às exigências para a formação de espécies pertencentes ao Grupo I.

4.3.3.1. Calagem

O calcário agrícola é o insumo mais utilizado na correção de acidez do solo e é classificado de acordo com o teor de MgO e CaO em três tipos: calcítico (1% a 5% de MgO e 45% a 55% de CaO), magnesiano (5% a 12% de MgO e 40% a 42% de CaO) e dolomítico (13% a 21% de MgO e 25% a 35% de CaO) (ALCARDE, 1983). Quando o teor de magnésio do solo estiver abaixo de 5 mmolc/dm³, deve-se dar preferência para uso de calcário dolomítico (PEREIRA et al., 2018).

No estado de São Paulo, a quantidade de calcário (NC) é definida para atingir o valor de V% requerido pela espécie forrageira, conforme a Tabela 10.

Tabela 10. Saturação por bases desejada para cada grupo de gramíneas forrageiras

Gramíneas	Saturação por bases desejada (V%)	
	Formação	**Manutenção**
Gramíneas para fenação	70	60
Grupo I	70	60
Grupo II	60	50
Grupo III	40	40

Fonte: Adaptado de Raij et al. (1997).

Com base na saturação por bases desejada (Tabela 10) e na saturação por bases e CTC do solo analisado (Tabela 8) na camada de 0 a 20 cm, foi possível determinar que a quantidade de calcário (PRNT = 92%) necessária para formação das espécies forrageiras em sistema de consórcio na fazenda é igual a 1,12 toneladas por hectare.

A escolha do calcário com PRNT de 92% para o cálculo embasou-se em compras anteriores da fazenda, em que, de forma recorrente, optou-se pela sua aquisição, o que configura um perfil de compra desse insumo e aponta um fornecedor fixo.

Nesse caso, o calcário deve ser o dolomítico, pois o teor de magnésio do solo analisado (3 mmolc/dm³) é inferior a 5 mmolc/dm³.

4.3.3.2. Gessagem

Segundo Brandão (2019), a aplicação de gesso é necessária quando a análise do solo apontar uma ou mais das seguintes condições em subsuperfície (abaixo de 20 cm): Cálcio for menor que 0,5 cmolc/dm³ ou 5 mmolc/dm³; Alumínio foi maior que 0,5 cmolc/dm³ ou 5 mmolc/dm³; Saturação por alumínio (m%) for maior que 20%. Como o solo analisado não se encaixa em nenhuma delas, não houve necessidade de gessagem.

4.3.3.3. Adubação fosfatada

Segundo Rosanova (2008), a deficiência generalizada de fósforo em solos tropicais torna o nutriente o principal limitante para o estabelecimento e manutenção de plantas forrageiras nesses solos. O fósforo desempenha papel fundamental no desenvolvimento das raízes e no perfilhamento, ou seja, é um nutriente essencial para maior produtividade e resistências das gramíneas (SANTOS et al., 2002).

Nas tabelas de adubação, a recomendação de adubação fosfatada é feita em termos de P_2O_5, já que a representação está profundamente arraigada nos meios agronômicos, no comércio e na legislação (Raij et al, 1996). Com base na Tabela 11 e na análise do solo da camada de 0-20 cm, a dose de P_2O_5 necessária para a formação das gramíneas na fazenda foi de 40 kg/ha.

Tabela 11. Adubação fosfatada para formação de forrageiras

P no solo	mg/dm³			
	0-6	7-15	15-40	>40
	P_2O_5 (kg/ha)			
Grupo I	100	70	40	0
Grupo II	80	60	40	0
Grupo III	60	40	20	0

Fonte: Adaptado de Raij et al. (1997).

4.3.3.4. Adubação potássica

De acordo com Foloni (2008), o potássio é o segundo nutriente mineral mais demandado pelas plantas em termos de quantidade e não possui função estrutural no seu metabolismo, ou seja, permanece majoritariamente na forma iônica nos tecidos vegetais. A recomendação para adubação potássica é expressa em K_2O e sua aplicação no sulco de semeadura não deve exceder 50 kg/ha, de forma a reduzir o efeito salino na germinação de sementes (OLIVEIRA, 2008). Com base na Tabela 12 e na análise do solo da camada de 0-20 cm, a dose de K_2O necessária para a formação das gramíneas na fazenda foi de 40 kg/ha.

Tabela 12. Adubação potássica para formação de forrageiras

K no solo (mg/dm³)	0-0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	>3,0
	K_2O (kg/ha)			
Grupo I	60	40	0	0
Grupo II	50	30	0	0
Grupo III	40	20	0	0

Fonte: Adaptado de Raij et al. (1997).

4.3.3.5. Adubação nitrogenada

Segundo Mazza et al. (2009), o fornecimento de nitrogênio é imprescindível para a formação de pastagens e manutenção da sua produtividade, pois o nutriente confere aumento de produção de massa vegetal e dos teores de nitrogênio e proteína bruta, além de promover redução da relação C/N e incremento dos níveis de clorofila no tecido foliar.

O nitrogênio (N) é um nutriente para o qual a análise do solo é pouco útil para predizer as recomendações de adubação. De forma geral, para a formação de área de pastagem, Raij et al. (1997) recomendam aplicação de 40 kg/ha do nutriente de 30 a 40 dias após o plantio, conforme a Tabela 13.

Tabela 13. Adubação nitrogenada para formação de forrageiras

Adubação nitrogenada	Plantio	30-40 dias
	N (kg/ha)	
Grupo I	0	40
Grupo II	0	40
Grupo III	0	40

Fonte: Adaptado de Raij et al. (1997).

4.3.3.6. Micronutrientes

Segundo Raij et al. (1997), os micronutrientes podem ser aplicados com os demais adubos de formação e, para pastagens de gramíneas exclusivas, deve-se aplicar apenas zinco conforme a Tabela 14.

Tabela 14. Adubação de formação de micronutriente para pasto exclusivo

Forrageira	Zn no solo (mg/dm³)		
	0-0,5	0,6-1,2	>1,2
		Zn (kg/ha)	
Grupo I	3	2	0
Grupo III	3	2	0
Grupo III	2	0	0

Fonte: Adaptado de Raij et al. (1997).

Com base na Tabela 14 e na análise do solo da camada de 0-20 cm, inferiu-se que não é necessária a aplicação de micronutrientes para a formação das gramíneas na fazenda.

4.4. Caracterização do biofertilizante

Tabela 15. Análise química do biofertilizante

Parâmetro	**Unidade**	**Resultado**
Demanda bioquímica por oxigênio	mg/dm³	7,18
Carbono orgânico total	g/dm³	5,82
Sólidos Totais	mg/dm³	90,14
Cloro total	mg/dm³	0,18
pH	-	8,02
N total	g/dm³	0,19
P total	g/dm³	0,86
K total	g/dm³	0,46

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. É um parâmetro importante no controle das eficiências das estações, tanto de tratamentos biológicos aeróbios e anaeróbios. Na legislação do Estado de São Paulo, no Decreto Estadual n.º 8468/76, exige-se DBO máxima de 60 mg/dm³ ou uma eficiência global mínima do processo de tratamento igual a 80%

(CETESB, 2013). Assim, foi possível verificar que o biofertilizante analisado possuia DBO adequada, pH ideal, entre 7,5 a 8,5 (Kunz et al., 2019) e bons teores de N, P e K: 0,19 kg/m³, 0,86 kg/m³ e 0,46 kg/m³, respectivamente.

Contudo, para a correta avaliação do potencial agronômico do material, os valores de N, P e K devem ser ajustados, pois os fertilizantes orgânicos possuem menor eficiência em relação aos fertilizantes minerais, já que parte dos nutrientes se encontra em formas não prontamente disponíveis para as plantas (Nicoloso et al., 2016). A tabela 16 apresenta alguns índices de eficiência agronômica para tal ajuste.

Tabela 16. Valores médios de eficiência agronômica dos nutrientes de diferentes fertilizantes orgânicos aplicados no solo em dois cultivos sucessivos

Fertilizante	Cultivo	Nutriente		
		N	P	K
Cama de frango	1° cultivo (efeito imediato)	0,5	0,8	1,0
	2° cultivo (efeito residual)	0,2	0,2	0,0
Dejeto líquido de suínos	**1° cultivo (efeito imediato)**	**0,8**	**0,9**	**1,0**
	2° cultivo (efeito residual)	**0**	**0,1**	**0,0**
Dejeto líquido de bovinos	1° cultivo (efeito imediato)	0,5	0,8	1,0
	2° cultivo (efeito residual)	0,2	0,2	0,0

Fonte: Adaptado de Nicoloso et al. (2016).

Segundo Nicoloso et al., (2016), o dejeto líquido de suínos apresenta, para o 1° cultivo, índice de eficiência agronômica de 90% para o fósforo, 80% para o nitrogênio e 100% para o potássio. Ou seja, no caso fósforo, apenas 90% do teor de P total presente no fertilizante estará disponível para a primeira cultura após aplicação no solo. Desse modo, espera-se efeito residual de 10% para esse nutriente, que só estará disponível para a cultura subsequente (2° cultivo).

Devido às elevadas perdas de N que ocorrem após a aplicação, não se considera que o dejeto líquido de suínos tenha efeito residual para o cultivo em sucessão (NICOLOSO et al., 2016)

Como o estudo consistiu na avaliação do biofertilizante como adubo de plantio para a formação de pastagem, só foi considerado o índice de eficiência agronômica referente ao 1° cultivo.

4.5. Taxa de aplicação do biofertilizante

Segundo Nicoloso et al. (2016), caso se conheça a quantidade de nutrientes exigidos pela cultura, a concentração de nutrientes do adubo orgânico e seus índices de eficiência, é possível determinar a dose do adubo (líquido) a ser aplicado no solo.

Como já determinado, as quantidades de N, P_2O_5 e K_2O (Tabela 17) necessárias para a formação das gramíneas *Panicum maximum* cv. Miyagui e *Pennisetum glaucum* em sistema de consórcio na propriedade foram calculadas com base na demanda da espécie mais exigente, que é a primeira.

Tabela 17. Doses de nutrientes exigidas para formação das forrageiras na propriedade

N	P_2O_5	K_2O
	(kg/ha)	
40	40	40

Fonte: Adaptado de Raij et al. (1997).

Logo, a dose do biofertilizante a ser aplicada no solo da propriedade de modo a atender à demanda de:

Nitrogênio: A = 40/ (0,19*0,8) = **263,16 m³/ha**

Fósforo: A = 40/ (0,86*0,9) = **51,68 m³/ha**

Potássio: A = 40/ (0,46*1,0) = **86,97 m³/ha**

Ao se optar pela dose mais alta, visando atender a demanda de N, há um aporte de P_2O_5 e K_2O (Tabela 18) em excesso à recomendação de adubação, algo que, segundo Gatiboni et al. (2015), configura um risco ambiental devido ao acúmulo desses nutrientes no solo. Em vista disso, a opção tecnicamente correta é aderir a menor dose (51,68 m³/ha) e complementar a adubação dos demais nutrientes com outras fontes minerais (NICOLOSO et al., 2016).

Tabela 18. Aporte de nutrientes para cada dose do biofertilizante

Taxa de aplicação (m³)	**N**	**P_2O_5**	**K_2O**
		kg/ha	
263,16	**40**	203,68	121,05
86,97	13,22	67,31	**40**
51,68	7,85	**40**	23,77

Fonte: Calculado a partir de Nicoloso et al., (2016).

Portanto, ao se aderir a menor dose (51,68 m³/ha), a qual atende à demanda de fósforo, a quantidade total de biofertilizante a ser aplicada na área de interesse do estudo é de: 51,68 m³/ha x 40 ha = **2.067,2 m³.**

Anteriormente, calculou-se que, a cada 27 dias, são produzidos 9600 m³ de biofertilizante. Logo, a quantidade demandada do fertilizante é compatível com a quantidade disponível para aplicação, o que viabiliza o estudo.

4.6. Impactos da adubação orgânica nos custos de produção da propriedade

Apesar de se reduzir os custos de produção na agricultura, ao proporcionar a substituição parcial ou total de fertilizantes minerais, há de se levar em consideração que, na adubação orgânica, o custo de distribuição de dejetos líquidos pode ser de sete a dez vezes superior ao custo de distribuição de fertilizantes minerais granulados: R$ 133,00/ha e R$ 12,50/ha, respectivamente. Soma-se a isso o custo com o transporte dos adubos orgânicos entre o local de coleta, junto às unidades de produção animal, até a lavoura, o que pode inviabilizar seu uso de forma econômica, sendo possível apenas nas áreas mais próximas, em distâncias de até 2 km. (NICOLOSO et al., 2016).

Na propriedade estudada, porém, o transporte e distribuição do biofertilizante se dava através de adutoras e do conjunto de irrigação (carretéis autopropelidos e pivô), e não havia gasto com energia elétrica para o funcionamento do sistema de fertirrigação, uma vez que os equipamentos utilizvam a energia elétrica disponibilizada pelos biodigestores através da produção do biogás. No entanto, desconsiderou-se, para o estudo, os custos com a aquisição do conjunto de irrigação e sua manutenção, pois esse atua em todas as demais áreas da propriedade.

Além de atender integralmente a quantidade de P_2O_5 necessária para a formação das forrageiras na propriedade, com a aplicação de 51,68 m³/ha do biofertilizante na área de interesse do estudo, há aporte de 7,85 kg/ha de N e 23,77 kg/ha de K_2O, reduzindo a demanda pelos nutrientes, conforme a Tabela 19.

Tabela 19. Doses de nutrientes necessárias para a formação de pastagem na propriedade antes e após aplicação do biofertilizante

N	P_2O_5	K_2O
	(kg/ha)	
	(Antes da aplicação)	
40	40	40
	(Após aplicação)	
32,15	0	16,23

Contudo, esses nutrientes ainda devem ser complementados através de outras fontes minerais. Para tal, alguns fertilizantes minerais e seu aporte de macronutrientes podem ser conferidos na Tabela 20.

Tabela 20. Garantias de alguns fertilizantes minerais utilizados como fonte de macronutrientes na agricultura

Fertilizante	N	P_2O_5	K_2O	S
		%		
Ureia	46	-	-	-
Nitrato de amônio	30	-	-	-
Fosfato monoamônico	11	52	-	-
Super Simples	-	20	-	12
Super Triplo	-	44	-	-
Cloreto de potássio (KCl)	-	-	60	
Sulfato de Amônia	21	-	-	22

Fonte: Adaptado de Raij et al. (1997).

Os custos referentes à aquisição desses fertilizantes foram obtidos a partir de cotação interna da Soft Pig para o mês de maio de 2022, conforme a Tabela 21.

Tabela 21. Cotação interna do mês de maio de 2022 para compra de fertilizantes minerais na Fazenda Santa Rosa

Fertilizante	R$/tonelada
Ureia	3.960,00
Nitrato	3.600,00
Fosfato monoamônico	6.450,00
Super Simples	3.410,00
Super Triplo	5.950,00
Cloreto de potássio	6.450,00
Sulfato de Amônia	3.205,00

O frete calculado para a propriedade foi de R$ 80,00 por tonelada de adubo. A escolha dos fertilizantes para a análise de viabilidade econômica se embasou na relação custo/benefício.

Como fonte de N, P_2O_5 e K_2O, aderiu-se Ureia, Superfosfato Triplo e KCl, respectivamente. A Tabela 22 refere-se ao comparativo entre os custos da adubação 100% mineral versus adubação com o biofertilizante para a formação das forrageiras na propriedade.

Tabela 22. Estimativa de custo de adubação com fertilizantes minerais e dejeto suíno reciclado na propriedade

	Super triplo	**Ureia**	**KCl**	**Frete**	**Custo**	**Total (40 ha)**
		kg/ha		R$/ha	R$/ha	R$
Adubação 100% mineral	90,90	86,95	66,66	20,00	1.335,13	53.405,20
Adubação Biofertilizante	0	69,89	27,05	8,00	459,23	18.369.20

É possível verificar que, com a adubação 100% mineral, os custos equivalem à R$ 1.335,13 por hectare e R$ 53.405,20 para a área total (40 ha). Já com a aplicação do biofertilizante, esses se reduzem consideravelmente: R$ 459,23 por hectare e R$ 18.369,20 para a área total.

Ou seja, com a aplicação de 51,68 m³/ha de dejeto de suíno reciclado na área de interesse do estudo há um ganho de R$ 875,90/ha ou R$ 35.036,00, o que representa uma economia de aproximadamente 66%.

5. CONCLUSÃO

Em suma, o estudo desenvolvido na Fazenda Santa Rosa em Leme-SP, evidenciou os benefícios do processo de biodigestão anaeróbia e sua utilidade e importância frente à demanda atual por fontes alternativas de adubação. Vale ressaltar que o modelo de reciclagem dos dejetos de suínos não só permite que esse seja aplicado no solo para uso agronômico, ao eliminar eventuais riscos de contaminação, como também oferece fonte renovável de energia por meio da produção de biogás. Ou seja, a transformação de um passivo ambiental em ativo econômico e a sustentabilidade são os principais atrativos desse modelo.

Na propriedade estudada, determinou-se que os DS reciclados por meio da biodigestão anaeróbia possuem alto potencial de adubação e atuam como importante fonte de N, P e K, além de proporcionarem melhorias físicas e biológicas no solo através do fornecimento de matéria orgânica. Para a área de interesse do estudo, alvo da formação das gramíneas *Panicum maximum* cv. Miyagui e *Pennisetum glaucum* ADRF 6010 Valente em sistema de consórcio, concluiu-se que dose de 51,68 m^3/ha do biofertilizante analisado atendeu integralmente à demanda de fósforo das forrageiras, com o aporte de boa quantidade de nitrogênio e potássio, o que correspondeu a uma economia de R$ 875,90/ha, ou 66%, com a aquisição de fertilizantes convencionais. Portanto, a utilização do biofertilizante na Fazenda Santa Rosa como adubo de plantio para formação da área de pastagem é de grande interesse e benefício para a propriedade, tanto no âmbito ambiental, como no econômico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. **Boletim 200: Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas.** 7 ed., Campinas, SP: Instituto Agronômico de Campinas, 2014, 452 p.

ALCARDE, J.C. Características de qualidade dos corretivos da acidez do solo. Simpósio sobre "Acidez e Calagem", XV Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, Campinas-SP, p. 11-22, 1983.

BAIRD, R.; EATON, A. D.; RICE, E. W. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23 ed., Washington, D.C.: American Public Health Association, 2017, 1496 p.

BARICHELLO, R.; HOFFMANN, R.; SILVA, S. O. C.; DEIMLING, M. F.; CASAROTTO FILHO, N. O uso de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na Região Noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, Maringá (PR)**. V. 8 n 2. 2015.

BARROS, T. Agroenergia. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. 2021. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn102wx5eo0sawqe3qf9d0sy.html>. Acesso em 18 jan. 2022.

BRANDÃO, A. **Calagem e gessagem de solos ácidos garantem maior produtividade para pastagens e grãos**. Embrapa Caprinos e Ovinos, 2019. https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/46245159/calagem-e-gessagem-de-solos-acidos-garantem-maior-produtividade-para-pastagens-e-graos#:~:text=desenvolvimento%20das%20culturas.-,A%20gessagem%20consiste%20em%20empregar%20gesso%20para%20corrigir%20o%20perfil,plantas%20de%20c%C3%A1lcio%20e%20enxofre.>. Acesso em: 19 de abr. 2022.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Boletim técnico 106: Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas.** Campinas, SP: Instituto Agronômico de Campinas, 2009, 77 p.

CARDOSO, B. F.; OYAMADA, G. C.; SILVA, C. M. Produção, tratamento e uso dos dejetos suínos no brasil. **Desenvolvimento em Questão**. Editora Unijuí, n. 32. out./dez. 2015.

CETESB. Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais**. Apêndice D, 2013. 46 p.

CHASTAIN, John P. et al. **Swine manure production and nutrient content**. 1999. Chap. 3. . Disponível em: <https://www.clemson.edu/extension/livestock/ camm/camm_files/swine/sch3a_03.pdf>. Acesso em: 20 de fev. 2022.

CRAVEIRO, A. M.; LA IGLESIA, M. R. de; HIRATA, Y. S. **Manual de biodigestores rurais.** São Paulo: Ipt, 1982. 61 p.

EMBRAPA. **Potencial agronômico dos dejetos suínos.** Portal Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1117243/1/final9052.pdf>. Acesso em: 28 de dez. 2021.

ESTADÃO. **Crise no mercado de insumos pode comprometer safra 2022/2023**. Canal agro, 2022**.** Disponível em:https://summitagro.estadao.com.br/noticias-do-campo/crise-no-mercado-de-insumos-pode-comprometer-safra-2022-2023/#:~:text=O%20agroneg%C3%B3cio%20brasileiro%20tem%20tecnologia,em%20grande%20escala%2C%20a%20exemplo>. Acesso em: 18 fev. 2022.

FATMA. FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. **Instrução Normativa nº 11**, Suinocultura. Florianópolis, 2014.

FOLONI, J. S. S; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4, 2008.

GATIBONI, L. C.; SMYTH T. J.; CASSOL P. C.; OLIVEIRA C. M. B. Limites críticos ambientais de fósforo no solo para avaliar seu risco de transferência para águas superficiais no estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v. 39, p. 1225-1234, 2015.

GOMES, L. H. S. **Possibilidades para a utilização de biogás - um estudo teórico**. 2017. 63 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

HILGROVE, A. M. N. **Recomendações básicas para o uso do milheto em pastejo ou como cobertura morta.** SCOTT CONSULTORIA, 2016. Disponível em: https://www.scotconsultoria.com.br/noticias/artigos/44652/recomendacoes-basicas-para-o-uso-do-milheto-em-pastejo-ou-como-cobertura-morta.htm>. Acesso em: 11 de abr. 2022.

IAC. **Informação Sobre Interpretação de Análise de Solo**. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/interpretacaoanalise.php#:~:text=O%20teor%20de%20mat%C3%A9ria%20org%C3%A2nica%20%C3%A9%20%C3%BAtil%20para%20dar%20id%C3%A9ia,g%2Fdm3%20para%20solos%20argilosos>. Acesso em: 20 de abr. 2022.

KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B. **Uso do Milheto como planta forrageira.** Gado de Corte Divulga, EMBRAPA, 2000. Disponível em: <https://old.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/divulga/GCD46.html>. Acesso em: 29 de abr. 2022.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento de dejetos: **Embrapa Suínos e Aves**, p. 41-108, 2019.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 651-665, 2005.

MANNING, D.T.; HADRICH J.C. An evaluation of the social and private efficiency of adoption: Anaerobic digesters and greenhouse gas mitigation. **Journal of Environmental Management**, v.154, n.8, p.70-77, 2015.

MATHIAS, M. C. P. P.; MATHIAS. J. F. C. M. Biogas in Brazil: a Governmental Agenda. **David Publishing Company**, v.3, p. 1-15, 2015.

MAZZA, L. M. Adubação nitrogenada na produtividade e composição química do capim Mombaça no primeiro plantalto paranaense. **Scientia Agraria**, Curitiba. v.10, n.4, p.257-265, 2009.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Suinocultura de baixa emissão de carbono**: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos. Brasília. 2016.

NICOLOSO, R. S.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; CERETTA, C. A.; SPAGNOLO, E.; CASSOL, P. C.; COMIN, J. J.; BRUNETTO, G. **Adubos e adubação orgânica**. In: MANUAL de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016a. p. 317-328.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão**: A alternativa energética. São Paulo: Nobel, 93 p. 1992.

OSAKI, M. **Alto preço do fertilizante desafia produtor**. Cepea, 2021. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opiniao-cepea/alto-preco-de-fertilizante-desafia-produtor.aspx#:~:text=Diante%20disso%2C%20simula%C3%A7%C3%B5es%5B1%5D,anterior%20(2020%2F21)>. Acesso em: 27 de nov. 2021.

OLIVEIRA, P. A. V. Produção e aproveitamento do biogás. In: OLIVEIRA, P. A. V. de et al. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos**: Manual REVISTA CIENTÍFICA. 2004.

OLIVEIRA, F. A.; CASTRO, C.; SFREDO, G. J.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA JUNIOR, A. **Fertilidade do solo e nutrição mineral da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. (Embrapa Soja. Circular técnica, 62).

PEREIRA, H.; FONTANELI, R. S.; SILVA A.; SILVEIRA O. S. **Princípios básicos da consorciação de culturas**. Documentos 75, Convênio Incra-Fapeg-Embrapa. Passo Fundo-RS, 2007.

PEREIRA, L. E. T. et al. **Recomendações para correção e adubação de pastagens tropicais**. Grupo de Estudos com Forragicultura e Pastagens - Pirassununga: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP, p.11-49, 2018.

RAIJ, B. V. R.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** 2 ed., Campinas, SP: Instituto Agronômico de Campinas, 1997, 285 p.

ROSANOVA, C. **Estabelecimento de pastagens de cultivares de Panicum maximum em consórcio com sorgo forrageiro, sob fontes de fósforo, no cerrado tocantinense**. UFT. 2008. 58p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), UFT, Gurupi, 2008.

SANTOS, H. Q.; FONSECA, D. M.; CANTARUTTI, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas Forrageiras tropicais, em diferentes idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 1, v. 26, p. 173-182, 2002.

SEGANFREDO, M. A. **A adubação com dejetos de suínos melhora ou polui o solo?** Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, 2000. 6 p. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=artigos&cod_artigo=163>. Acesso em: 28 de mar. 2022.

SOUZA, C. de F. Produção de biogás e tratamento de resíduos: Biodigestão anaeróbia. **Ação Ambiental, Viçosa**, n. 34, p.26-29, nov./dez. 2005.

TAGUCHI, V. **Crise energética na China e política em Belarus afetam produção de adubo e ameaçam encarecer alimentos**. UOL economia, 2021. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/reportagens-especiais/falta-de-fertilizantes-pode-afetar-producao/#cover>. Acesso em: 28 de dez. 2021.

VIVAN, M.; KUNZ, A.; STOLBER, J.; PERDOMO, C.; TECHIO, V. H. Efficiency of biodigester and stabilization pond interaction in removal of swine manure pollutants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 320–325, 2010.

WERNER, J. C.; PAULINO, V. T.; CANTARELLA, H. **Recomendação de adubação e calagem para forrageiras**. In: RAIJ, B. van; SILVA, N.M.; BATAGLlA, O. C. QUAGGIO, J. A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLlNAZZI, Jr., R.; DECHEN, A.R.; TRANI, P. E. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1996. p.263-271 (IAC, Boletim Técnico, 100).