



PECUÁRIA

DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO

TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA E
APROVEITAMENTO ECONÔMICO DOS RESÍDUOS
DA PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE E LEITE
EM SISTEMAS CONFINADOS

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO
SECRETARIA DE MOBILIDADE SOCIAL, DO PRODUTOR RURAL E DO COOPERATIVISMO

PECUÁRIA

DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO

TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA E APROVEITAMENTO
ECONÔMICO DOS RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE
E LEITE EM SISTEMAS CONFINADOS

BRASÍLIA
MAPA
2017

2017 Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Todos os direitos reservados. Permitida a reprodução desde que citada a fonte.

A responsabilidade pelos direitos autorais de textos e imagens desta obra é do autor.

1ª edição. Ano 2017

Tiragem: 2.000

Consultores do Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono

Cleandro Pazinato Dias

Fabiano Coser

Tayara Beraldi

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO

Secretaria de Mobilidade Social, do Produtor Rural e do Cooperativismo

Departamento de Desenvolvimento das Cadeias Produtivas e de Produção Sustentável

Coordenação de Agropecuária Conservacionista, Florestas Plantadas e Mudanças Climáticas

Endereço: Esplanada dos Ministérios Bloco “D”, Anexo B, Sala 147

Cep: 70.043-900 – Brasília/DF

Tel: (61) 3218.2537

www.agricultura.gov.br

Catálogo na Fonte
Biblioteca Nacional de Agricultura – BINAGRI

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Pecuária de baixa emissão de carbono: Tecnologias de Produção Mais Limpa e Aproveitamento Econômico dos Resíduos da Produção de Bovinos de Corte e Leite em Sistemas Confinados / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Mobilidade Social, do Produtor Rural e do Cooperativismo. – Brasília : MAPA, 2017.

88 p.

ISBN xxx-xx-xxxx-xxx-x

1. Pecuária. 2. Sustentabilidade. I. Secretaria de Mobilidade Social, do Produtor Rural e do Cooperativismo. II. Título.

AGRIS L01
CDU 636.4



SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO 7	
1	1 PECUÁRIA NACIONAL E SISTEMAS CONFINADOS 9	2
	1.1 Sistemas Confinados de Gado de Corte e Leite 10	
	1.2 Importância do Melhoramento Genético e das Boas Práticas de Produção na Diminuição das Emissões de GEE 13	
	1.3 Pegada de Carbono em Diferentes Sistemas de Produção 15	
2	USO RACIONAL DA ÁGUA 19	3
	2.1 Consumo de Água por Bovinos 20	
	2.2 Captação da Água da Chuva 22	
	2.3 Métodos de Reuso da Água 24	
		2.4 Bebedouros para Gado de Corte e Leite 26
		2.5 Métodos Racionais de Lavagem 27
		2.6 Métodos de Mensuração do Uso e Consumo da Água 29
		USO RACIONAL DO CONCENTRADO E VOLUMOSO 29
		3.1 Principais Alimentos Volumosos e Concentrados Usados na Pecuária Intensiva de Corte e Leite 31
		3.2 Métodos de Conservação de Alimentos que Favorecem a Redução de Emissões 32
		3.3 Uso de Aditivos Melhoradores da Fermentação de Volumosos 37
		3.4 Estratégias Nutricionais para Diminuição da Produção de Metano 38

4

TECNOLOGIAS PARA O APROVEITAMENTO ECONÔMICO DOS RESÍDUOS DE BOVINOS | 43

- 4.1 Separação de Dejetos | 48
- 4.2 Biodigestores e Produção de Biogás | 49
- 4.3 Compostagem dos Dejetos (*compost barn*) | 54
- 4.4 Compostagem dos Dejetos Mecanizada | 56
- 4.5 Uso dos Biofertilizantes | 57
- 4.6 Outras Tecnologias com Potencial Mitigador de GEE | 60

5

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE TECNOLOGIAS DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO E APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS | 61

- 5.1 Metodologia | 62
- 5.2 Descrição das Tecnologias | 65
- 5.3 Indicadores de Análise | 67
- 5.4 Premissas Gerais Adotadas para as Projeções | 67
- 5.5 Análise Econômica | 69

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 75



INTRODUÇÃO

O Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC) tem por finalidade a organização e o planejamento das ações a serem realizadas para a adoção de tecnologias de produção sustentáveis, selecionadas com o objetivo de responder aos compromissos de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no setor agropecuário, assumidos pelo País. Atualmente é composto por sete programas: Recuperação de Pastagens Degradadas; Integração Lavoura-Pecuária-Floresta "(iLPF)" e Sistemas Agroflorestais "(SAF's)"; Sistema Plantio Direto (SPD); Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN); Florestas Plantadas; Tratamento de Dejetos Animais; Adaptação às Mudanças Climáticas.

O Projeto "Pecuária de Baixa Emissão de Carbono: Tecnologias de Produção mais Limpa e Aproveitamento Econômico dos Resíduos da Produção de Bovinos de Corte e Leite em Sistemas Intensivos" do Plano ABC. O projeto identificou e selecionou as tecnologias de produção sustentáveis passíveis de serem implantadas nas condições de produção de bovinos de corte e leite em sistemas confinados brasileiros. O foco da pesquisa foi o de contemplar as tecnologias de gestão racional da água e dos alimentos, implantação de biodigestores, geração de energia elétrica

por meio do uso do biogás produzido pelos dejetos, compostagem mecanizada e também pelo sistema de *compost barn*.

As atividades descritas priorizam o aproveitamento econômico dos resíduos e o consequente aumento de renda dos pecuaristas. O estudo também contém informações que estimulam o uso adequado do biofertilizante gerado pela atividade.

A agricultura, incluindo a pecuária, contribui com 14% das emissões globais de GEE, sendo o terceiro maior setor responsável pela emissão desses gases. Do total de emissões antropogênicas de metano e óxido nitroso a nível global, a pecuária contribui com 35 e 65% dos respectivos gases, sendo que a América Latina ocupa a segunda posição na lista dos principais emissores de metano entérico, responsável por 23,9% do total, ficando atrás apenas da Ásia.

Existem duas fontes emissoras de GEE provenientes da pecuária: a fermentação entérica, na qual determinados microrganismos presentes no rúmen produzem CH_4 como um subproduto durante a digestão e; a fermentação anaeróbia dos dejetos produzindo CH_4 e desnitrifi-

cação de dejetos produzindo N_2O (SEJIAN et al, 2016). Além dessas duas principais fontes, a pecuária também é responsável pela emissão indireta de GEE através da queima de combustíveis fósseis durante o transporte de insumos e pelos fertilizantes aplicados no solo para produção dos alimentos destinados aos animais.

Além do problema com os GEE, a produção pecuária oferece o risco sanitário de contaminação microbiológica do solo e água através dos dejetos. Os animais podem excretar agentes patogênicos e, se os processos de destinação e utilização dos dejetos não forem realizadas de forma adequada, os microrganismos podem infectar seres humanos. Assim, as tecnologias de tratamento devem reduzir a

concentração de patógenos antes dos dejetos serem utilizados como fertilizantes em lavouras.

No Brasil, a criação de bovinos ainda é predominantemente extensiva, no entanto, sistemas confinados de bovinos de corte e, principalmente bovinos de leite, vêm ganhando espaço dentro da produção nacional. Esses sistemas devem ser projetados a fim de maximizar o uso dos dejetos e das águas residuais (lavagem dos equipamentos e instalações, água utilizada durante a ordenha), reciclando-os. Segundo Pereira (2013), os sistemas brasileiros de produção têm potencial para aumentar a quantidade de produto final, mantendo ou reduzindo a emissão de GEE, sendo possível melhorar a eficiência.



1

PECUÁRIA
NACIONAL
E SISTEMAS
CONFINADOS



PECUÁRIA
DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO

Segundo dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2017), o Brasil possui o segundo maior rebanho de bovinos do mundo, com aproximadamente 226 milhões de cabeças, permanecendo atrás da Índia, e é atualmente o segundo maior produtor mundial de carne, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. O setor movimenta R\$ 167,5 bilhões por ano e gera cerca de 7 milhões de empregos (CNA, 2016).

No que diz respeito à pecuária leiteira, um dos setores mais importantes do complexo agroindustrial brasileiro, a expectativa de produção para o ano de 2017 é de 34,2 bilhões de quilogramas de leite (USDA, 2016), sendo que quase a totalidade é consumida dentro do País.

No Brasil, os sistemas de produção de leite mais utilizados são a criação a pasto com ou sem suplementação e os sistemas confinados. Dentre os confinados, os mais utilizados são o *free stall* e os piquetes, no entanto, a utilização do sistema *compost barn* cada vez mais vem ganhando adeptos. Uma breve explicação sobre alguns pontos importantes dos sistemas *free stall* e *compost barn* para bovinos leiteiros e produção confinada de bovinos de corte serão tratados adiante.

1.1 Sistemas Confinados de Gado de Corte e Leite

Os sistemas de gado leiteiro confinado são caracterizados pelo fornecimento do alimento exclusivamente no cocho. A alimentação tem como base alimentos conservados como silagem de milho e feno de alfafa, ou gramínea de alta qualidade e concentrado. Em sua maior parte, os rebanhos são formados por animais puros de raças taurinas ou que apresentem alto grau de sangue holandês (ASSIS et al., 2005).

Um dos principais aspectos do confinamento de animais é a alta quantidade de dejetos produzidos por unidade de área, o que pode ser considerado um problema ou, ao contrário, uma oportunidade de utilização dos produtos derivados desses efluentes. No entanto, o manejo desses resíduos é um desafio que envolve aspectos técnicos, sanitários e econômicos a serem enfrentados (BATISTA et al., 2014).

1.1.1 Sistema de produção em *Free Stall*

Esse sistema surgiu nos Estados Unidos na década de 1950 e se tornou popular no Brasil a partir dos anos 80. O sistema *free stall* se espalhou rapidamente por sua superioridade em relação a

outro sistema popular da época, o “*loose-housing*” no que diz respeito à diminuição de injúrias nos tetos e cascos das vacas e menor quantidade de cama necessária (ARAUJO, 2001).

Nesse sistema os animais permanecem em um galpão coberto, sendo parte dele destinado a uma área para alimentação, uma para exercício dos animais e outra para descanso das vacas, esta última dividida em baias individuais forradas com material de cama. Os animais têm acesso livre às baias, que devem ter espaço suficiente para o conforto do animal, mas que não permitam ao animal virar-se. Quando deitado, o animal

deve permanecer com o úbere e as pernas dentro da baia, enquanto os dejetos são excretados em um corredor de limpeza. O material da cama deve ser palha, areia, maravalha, material emborrachado, entre outros.

O piso do corredor onde os dejetos são depositados deve ser de concreto com frisos longitudinais e declividade entre 1,0% a 1,5%, a fim de evitar que os animais escorreguem e para facilitar o escoamento da água e resíduos orgânicos, sobretudo se for utilizado o sistema de manejo líquido dos dejetos (CAMPOS; KLOSOWSKI; CAMPOS, 2006).

FIGURA 1 | Sistema de produção em *Free Stall*.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Vale do Jotuva/PR.

1.1.2 Sistema de produção em *Compost Barn*

É um sistema utilizado para bovinos leiteiros onde as vacas permanecem livres em uma área de descanso coletiva onde o piso é coberto com cerca de 30 cm de matéria orgânica (cama), ou seja, os animais não têm contato permanente com a superfície de concreto. O *compost barn* oferece mais espaço para as vacas em comparação ao *free stall*, uma vez que não há divisórias delimitando o espaço para cada animal.

Neste sistema, a urina e fezes dos animais são misturadas com o material da cama, geralmente formada por maravalha ou serragem. Daí deriva o nome do sistema, pois, a partir dessa mistura ocorre um processo de compostagem. Bebedouros e

comedouros ficam fora da área de compostagem, em um corredor de alimentação. Outros materiais que também podem ser utilizados como cama são a casca de arroz, de café e de amendoim. No entanto, deve-se ter cuidado na escolha do material, evitando materiais de decomposição muito rápida ou muito demorada, pois isso pode resultar em compostagem inadequada (SANTOS, 2016).

1.1.3 Sistema de produção de bovinos de corte confinados

A bovinocultura de corte no Brasil, de forma geral, ainda não adota alta tecnologia. A atividade é predominantemente extensiva, à base de pasto,

FIGURA 2 | Sistema de produção em *Compost Barn*.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Sekita Agropecuária/MG.

e exige mais área disponível em comparação à bovinocultura de leite. Para a fase de engorda da bovinocultura de corte, o sistema de intensivo de confinamento surge como uma alternativa aos sistemas extensivo e semi-intensivo (SOUZA; TINOCO; SARTOR, 2003).

No sistema confinado os animais recebem alimento em comedouros e água em bebedouros. Basicamente existem dois tipos de confinamento: a céu aberto, que consiste em um conjunto de currais em chão batido sem um sistema de coleta regular dos dejetos e; o galpão coberto ou semi-coberto, no qual os animais permanecem durante o período da engorda sobre piso pavimentado e com coleta dos efluentes.

O confinamento permite a redução da idade do abate do animal, carne de melhor qualidade, aumento da taxa de desfrute diminuindo a ociosidade dos frigoríficos na entressafra e elevada produção de adubo orgânico. Por outro lado, a arroba do animal produzido em confinamento é mais cara que em regime de pastejo (LOPES; MAGALHÃES, 2005).

1.2 Importância do Melhoramento Genético e das Boas Práticas de Produção na Diminuição das Emissões de GEE

A produção leiteira tem o potencial de diminuir as emissões de GEE através da melhora da eficiência, por meio do desempenho animal ideal (menos animais não produtivos e doentes no rebanho) (BELL;

FIGURA 3 | Sistema de produção de bovinos de corte confinados.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Fazenda Santa Alice/PR

ECKARD; PRYCE, 2012), maior longevidade e manutenção do nível de produção. Dessa forma, são necessários menos animais para produzir a mesma quantidade do produto (CAPPER; CADY; BAUMAN, 2009). Geralmente, animais mais eficientes na utilização da energia excretam menos metano por unidade de produto (CHAGUNDA; RÖMER; ROBERTS, 2009). A seleção de vacas leiteiras com níveis elevados de produção e que tenham eficiência na utilização da energia é uma estratégia eficiente de mitigação (PEREIRA, 2013).

O melhoramento genético tem sido o principal contribuinte no aumento da produtividade de leite (CAPPER; CADY; BAUMAN, 2009). É uma estratégia custo-eficiente para se obter reduções nas emissões

de GEE, uma vez que seu efeito é cumulativo e permanente. Na pecuária de corte, a melhoria no desempenho dos animais (seja por melhoramento genético ou melhora na utilização de energia dos alimentos) proporciona diminuição da permanência do animal no sistema, reduzindo assim a produção de CH₄ durante o ciclo de vida (PEDREIRA et al., 2005).

O sêmen sexado, quando utilizado de forma criteriosa, tem potencial para contribuir com na redução do impacto da pecuária sobre as mudanças climáticas. Essa estratégia pode melhorar a taxa de ganho genético uma vez que características vantajosas se tornam presentes mais rapidamente em toda a população bovina.

FIGURA 4 | Animais de alto potencial genético, utilizados no melhoramento do rebanho.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Fazenda Cachoeira/PR.

Muitas estratégias para diminuir as emissões promovem também benefícios econômicos aos produtores devido à redução nos custos de produção. Diminuir a média de idade ao primeiro parto e aumentar a produção de leite na primeira lactação pode melhorar a eficiência produtiva ao longo do ciclo de vida do animal e diminuir as emissões por quilograma do produto. De forma similar, melhorando a desempenho reprodutivo do rebanho, como por exemplo, adotando melhores métodos de inseminação, reduzirá o intervalo entre partos e consequentemente os dias não produtivos.

Melhorar a saúde do rebanho por meio de uma adequada administração de colostro aos recém-nascidos ou utilizando um protocolo de vacinação adequado, por exemplo, podem melhorar o sistema imune do animal e o combate a enfermidades. Isso contribuirá para a diminuição da mortalidade, melhora do desempenho reprodutivo e da produção de leite carne e aumento da longevidade do rebanho.

A melhora do bem-estar dos animais também pode contribuir com um melhor desempenho do animal durante sua vida produtiva e consequentemente com menor emissão por unidade de produto. Além da melhora da saúde do rebanho, eliminando outros fatores estressantes, como o calor ou desconforto proveniente de um piso abrasivo proporcionará melhor bem-estar aos animais.

1.3 Pegada de Carbono em Diferentes Sistemas de Produção

A pegada de carbono é a quantidade total de GEE emitidos direta ou indiretamente por um indivíduo, organização, evento, produto ou país. Essa medida é adequada para comparações entre sistemas de produção de carne a fim de verificar qual é menos poluente. Cardoso (2012) utilizou modelos de simulação para investigar as emissões de GEE em quatro cenários hipotéticos de produção de bovinos de corte no Brasil. As fazendas “hipotéticas” foram definidas tomando como base os sistemas em ciclo completo (cria, recria e engorda):

- **Cenário 1:** cenário com menor tecnologia empregada, onde os animais não tinham raça definida e eram mantidos em pastagem degradada durante todo o período de produção. Sem manejos específicos, controle zootécnico, com cruzamentos aleatórios. Lotação de 0,5 animais/ha.
- **Cenário 2:** nelore ou cruza de nelore. Animais mantidos em pastagens nominais durante todo o período, com oferta esporádica de sal mineral no cocho. Manejos e controle zootécnico esporádico. Lotação de 1,0 animais/ha.

- Cenário 3:** nelores e respectivas cruzas. Animais mantidos em pastagens produtivas durante todo o período e com suplementação vitamínico-mineral no cocho. Manejos específicos e controle zootécnico presente. Lotação de 1,7 animais/ha.

de engorda. Fornecimento de suplementação vitamínico-mineral no cocho. Manejos específicos e controle zootécnico presente. Lotação de 2,2 animais/ha.
- Cenário 4:** cenário com emprego de maior tecnologia. Nelores e respectivas cruzas. Animais mantidos em pastagens produtivas durante os períodos de cria e recria e confinamento (silagem de milho, concentrado de milho e farelo de soja) durante o período

Nessa simulação, o cenário 4 foi o que apresentou a menor pegada de carbono (31,20 kg de CO₂-eq kg⁻¹ de carcaça) (Tabela 1).

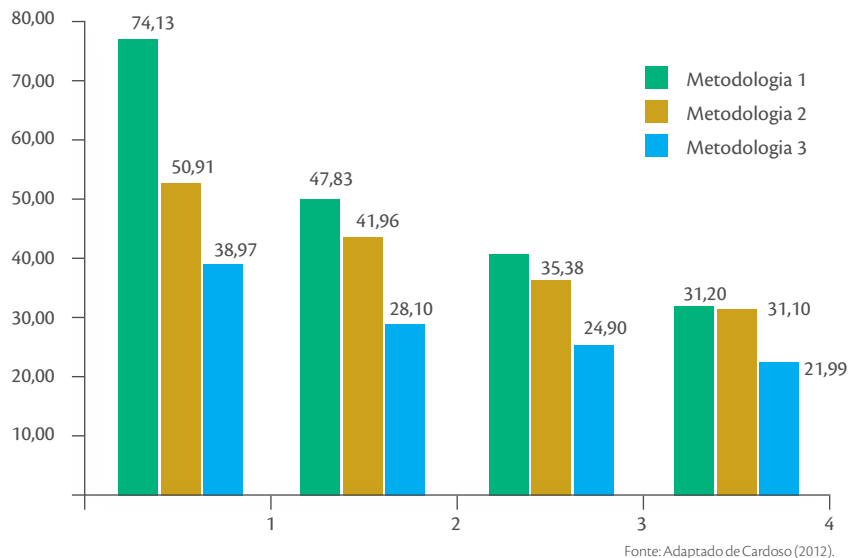
Os autores utilizaram outras duas metodologias para o cálculo da pegada de carbono nos diferentes cenários avaliados. Independente da metodologia aplicada, a intensificação sempre proporciona potencial de mitigação (Gráfico 1).

TABELA 1 | Produção de metano, óxido nitroso, dióxido de carbono, carcaça e equivalente de CO₂ por unidade de carcaça produzida, para os quatro cenários simulados de sistemas de produção de bovinos de corte no Brasil.

Variável	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
CH ₄ /carcaça produzida (kg/kg)	2,75	1,76	1,29	1,01
N ₂ O/carcaça produzida (g/kg)	17,76	12,97	9,88	8,47
CO ₂ /carcaça produzida (kg/kg)	0,03	0,05	3,52	3,31
Total carcaça (kg/ano)	9.300,00	11.825,00	15.035,00	16.750,00
CO₂-eq/carcaça (kg/kg)	74,12	47,83	38,81	31,20

Fonte: Adaptado de Cardoso (2012).

FIGURA 5 | Pegada de carbono (kg CO₂ por kg de carne) em quatro diferentes cenários simulados e três metodologias distintas.



Os fatores que explicam a redução nas emissões de GEE por unidade do produto em sistemas de produção mais intensificados são:

- menor período até o abate;
- crescimento mais rápido, ou seja, maior ganho de peso;
- menor produção de metano em dietas com grãos e suplementos;

- maior capacidade de suporte da fazenda;
- maiores produtividades por área e produção absoluta de carne.

Diminuir a população bovina com o objetivo de amenizar os efeitos adversos sobre o meio ambiente, sobretudo em condições tropicais onde ocorre baixa produtividade por condições inerentes ao solo e baixa disponibilidade de recursos alimentícios de boa qualidade, não é uma alternativa viável. Ainda mais

no momento que a população humana no mundo, e principalmente nos países tropicais, demandam elevado fornecimento de alimentos de origem animal (CARMONA; BOLIVAR; GIRALDO, 2005).

Estratégias para mitigação de CH₄ de emissões entéricas só serão recomendadas se elas não resultarem em aumento nas emissões de outros GEE, como CO₂ e N₂O (MARTIN; MORGAVI; DOREAU, 2010).



2

USO RACIONAL DA ÁGUA



PECUÁRIA
DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO

A água como um componente essencial da atividade e um recurso natural limitado deve receber atenção especial dos produtores, técnicos e funcionários. Independente da fonte de água utilizada na propriedade (pluvial, subterrânea ou superficial) o uso racional deve compor o rol de medidas ligadas à sustentabilidade ambiental. As tecnologias para prevenção dos desperdícios, para o reuso da água, e para coleta da água da chuva que têm impacto direto no volume dos efluentes produzidos e nos custos de tratamento dos dejetos devem ser consideradas.

A água é o nutriente mais importante para bovinos leiteiros, pois age sobre todos os processos inerentes à vida, dentre eles digestão e metabolismo, eliminação de elementos não aproveitáveis através da urina, fezes e respiração e controle do excesso de calor produzido. Além disso, é o principal constituinte do leite, perfazendo cerca de 90% desse alimento. Entre 56% a 81% do peso corporal de bovinos leiteiros é água (MURPHY, 1992), sendo que o estágio fisiológico (início da lactação, final da lactação, vacas secas) é um dos fatores que afeta a quantidade de água corporal.

2.1 Consumo de Água por Bovinos

O requerimento de água diária dos bovinos é suprido por três origens: livre consumo; ingestão de água contida nos alimentos e; água produzida

no próprio corpo por meio do metabolismo de nutrientes. Esta última fonte é insignificante em comparação às outras duas, sendo que o total de água consumida é a soma da água ingerida livremente e da água contida nos alimentos.

Em bovinos, o consumo diário de água varia significativamente devido a vários fatores, dentre eles: tamanho do animal e fase de crescimento ou produção, ingestão de matéria seca, produção diária de leite, conteúdo de matéria seca na dieta, temperatura e umidade relativa do ar e ingestão de sódio. A temperatura da água e aspectos de qualidade, como salinidade e impurezas, que afetem o sabor e odor, também afetam o consumo. A Figura 6 apresenta alguns dos principais fatores que influenciam o consumo de água pelos animais.

FIGURA 6 | Fatores que influenciam o consumo de água pelos animais.



Fonte: Adaptado de Palhares (2013).

Sabendo que o consumo de água é influenciado por muitos fatores, os requerimentos de água para algumas categorias de vacas de leite e de gado de corte são apontados de forma aproximada nas Tabelas 2, 3 e 4.

TABELA 2 | Consumo de água para bovinos leiteiros de acordo com a idade e nível de produção de leite.

Categoria animal	Nível de produção de leite (kg leite/dia)	Amplitude de requerimento de água (L/dia)	Uso médio de água* (L/dia)
Bezerras leiteiras (1-4 meses)	-	4,9 – 13,2	9
Novilhas leiteiras (5-24 meses)	-	14,4 – 36,3	25
Vacas leiteiras	13,6	68 – 83	115
	22,7	87 – 102	115
	36,3	114 – 136	115
	45,5	132 – 155	115
Vacas secas	-	34- 49	41

*Consumo típico ao longo de um ano em condições agrícolas médias em Ontário, Canadá. Fonte: Adaptado de Ward (2007)

A Tabela 3 foi proposta por Palhares (2013) com informações provenientes de dezenas de recomendações técnicas, estudos científicos e legislações ambientais. Por serem valores que consideram a genética dos animais, manejos nutricionais e sanitários e outras condições específicas de dife-

rentes locais, só devem ser utilizados se o produtor não dispuser de informações que considerem condições semelhantes às de sua produção.

TABELA 3 | Consumo de água de dessedentação por bovinos de corte e de leite.

Bovinos de corte	Consumo (L/dia/animal)
Até 250 kg*	22-27
Até 370 kg*	30-50
Até 455 kg*	41-78
Bovinos de leite	-
Vaca em lactação	64
Vaca e novilha no final da gestação	51
Vaca seca e novilha gestante	45
Bezerro lactante (a pasto)	12

*Considerando intervalos de temperatura entre 21° C e 32° C.
Adaptado de Palhares (2013).

O conteúdo de matéria seca na dieta é o principal fator que influencia o livre consumo de água. Quando o conteúdo de matéria seca na dieta diminui o livre consumo também diminui, uma vez que boa parte da necessidade de água é suprida pela água contida nos alimentos. Alimentos com alta umidade, como silagens ou pastagens, têm altos teores de água, já o feno, por exemplo, tem baixos teores.

Aumentando o conteúdo de matéria seca na dieta de 30% para 60% ocorre aumento no consumo de água, no entanto, é observado pouco efeito sobre o consumo de

água se o teor de matéria seca na dieta passar de 60% (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2001).

TABELA 4 | Consumo de água para bovinos de corte de acordo com a categoria e peso.

Categoria animal	Amplitude de peso (kg)	Amplitude de requerimento de água (L/dia)	Uso médio de água* (L/dia)
Gado de engorda (alta forragem)	181 – 364	15- 40	25
Gado de engorda (alta energia)	364- 636	27 – 55	41
Vacas em lactação com bezeros	-	43 – 67	55
Vacas secas, novilhas cobertas e touros	-	22- 54	38

*Consumo típico ao longo de um ano em condições agrícolas médias em Ontário, Canadá. Fonte: Adaptado de Ward (2007).

2.2Captação da Água da Chuva

Antes de se pensar em qualquer sistema de aproveitamento de dejetos, deve-se atentar para um eficiente uso do alimento e também da água. No caso da água, alguns cuidados são necessários para evitar o excesso de diluição do dejeito que posteriormente será aproveitado (GEBLER; PALHARES, 2007): desviar a água da chuva; diminuir o desperdício nos bebedouros; aperfeiçoar a limpeza das instalações promovendo a raspagem dos dejetos antes da utilização de água.

A captação da água da chuva pode ser feita em telhados de casa ou qualquer outra construção da propriedade, conduzindo a água através de calhas e encanamentos até cisternas ou outro tipo de reservatório (REGELMEIER; KOZERSKI, 2015). Na captação, o uso que se pretende fazer da água irá determinar a qualidade que ela deve ter e como a tecnologia de coleta e armazenamento deverá ser gerida. Uma série de fatores irão determinar a qualidade da água da chuva armazenada em cisternas: pureza da atmosfera e do entorno da cisterna; época do ano; duração e intensidade da chuva, condições regionais; materiais utilizados no sistema de captação; impurezas provenientes do telhado; entre outros (PALHARES; GUIDONI, 2012). O contato com as superfícies dos componentes do sistema de captação poderá ocasionar contaminação dessa água com microrganismos patogênicos e, caso o manejo da tecnologia não seja feito de forma correta, isso poderá inviabilizar sua utilização para fins mais nobres, como a dessedentação dos animais, devendo então ser utilizada para outros fins.

Após alguns dias sem chuva ocorre acúmulo de poeira, folhas, detritos e outras sedimentos nos telhados sendo aconselhável descartar a primeira água da chuva (esse procedimento é denominado *first flush*). No entanto, conforme o uso pretendido para a água da chuva, o *first flush* pode ser dispensado (TOMAZ, 2007). Se a utilização for

para consumo pelos animais ou para higienização dos equipamentos de ordenha, o sistema de coleta e armazenamento deverá possuir um processo intermediário de filtração que seja eficiente, bem como monitoramento da qualidade da água.

A água proveniente do *first flush* deve ser conduzida a partir dos telhados até um pré-filtro onde será depositada para descarte (REGELMEIER; KOZERSKI, 2015). Após a retenção da água de lavagem do telhado, a próxima água deverá passar por filtros que permitam que a passagem de água vença a vazão proveniente dos telhados. Nesse caso ao invés de utilizar areia média e fina, poderá ser utilizada pedra britada, com posterior processo de tratamento da água (REGELMEIER; KOZERSKI, 2015).

As cisternas para armazenamento poderão estar sobre o solo, enterradas, semi-enterradas ou elevadas, podendo ser retangulares, quadradas, cilíndricas ou cônicas, sendo que os materiais mais utilizados para fabricação são a vinimanta de PVC, manta de PEAD, fibra de vidro, alvenaria, ferro cimento ou concreto armado (PALHARES, 2016).

O cálculo do tamanho da cisterna deverá ser feito considerando a precipitação local, necessidade de utilização da água (demanda de água pela propriedade), duração do período seco, área de superfície de captação e orçamento (CNA, 2016a).

Após o armazenamento em cisterna, a água deverá sofrer um processo de tratamento que dependerá do uso que se pretende fazer dela. Fins nobres demandarão sistemas de tratamento mais complexos (CNA, 2016b).

Algumas vantagens do aproveitamento da água da chuva são elencados por Regelmeier e Kozerski (2015) e Palhares (2016):

- A utilização da água da chuva é gratuita;
- Menor utilização de água potável onde esta não é necessária, como em lavagens de pisos, descarga de vasos sanitários e irrigação, por exemplo, contribuindo com a conservação de água, promovendo autossuficiência e uma postura ambientalmente correta;
- O sistema de captação é de fácil manutenção e com tecnologia disponível para diferentes propriedades;
- De acordo com a qualidade da água armazenada na cisterna é possível utilizarmos a água de diversas formas nas atividades agropecuárias;
- A propriedade detém maior segurança hídrica.

FIGURA 7 | Sistema de captação da água da chuva.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Vale do Jotuva/PR.

2.3 Métodos de Reuso da Água

Define-se água residuária como aquela descartada após utilização em diversas atividades ou processos. A Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), inclui como águas residuárias aquelas provenientes de esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, sejam tratados ou não. A legislação brasileira sobre o reuso da água é muito generalista e faltam estudos que demonstrem quais são os riscos reais na sua utilização (OTENIO, 2015).

No que diz respeito à bovinocultura leiteira, soma-se aos resíduos gerados pelos animais, aqueles provenientes da ordenha e processamento do leite. Esse efluente misturado com pelos, restos de alimentos e dejetos animais é composto por macro e micronutrientes, que podem melhorar a fertilidade do solo e o desenvolvimento das plantas.

A reutilização de águas residuárias é um método de gestão sustentável dos recursos hídricos e aparece como substituto do uso de águas de boa qualidade (OTENIO, 2015). A resolução nº 54 do CNRH estabelece as seguintes modalidades de reuso direto não potável:

USO RACIONAL DA ÁGUA

I - reuso para fins urbanos: utilização de água de reuso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;

II - reuso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reuso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

III - reuso para fins ambientais: utilização de água de reuso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;

IV - reuso para fins industriais: utilização de água de reuso em processos, atividades e operações industriais; e,

V - reuso na aquicultura: utilização de água de reuso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos (BRASIL, 2006).

As formas de reuso para fins agrícolas abrangem a aplicação no solo para fertirrigação e limpeza hidráulica de instalações, no entanto, é necessário um tratamento eficaz para garantir a segurança ambiental e diminuição do risco de transmissão de microrganismos patogênicos pelas águas residuárias. No caso da utilização para limpeza, se a água residuária for de má qualidade microbiológica pode ocorrer contaminação dos equipamentos de ordenha, comprometendo a qualidade final do leite.

Dentre as formas de reuso da água mais comumente encontradas em propriedades produtoras de bovinos de corte e leite no Brasil, está o reuso da água pós-tratamento no biodigestor para lavagem dos pisos e tubulações dos dejetos. A água de reuso não é utilizada para limpeza da sala de ordenha e equipamentos.

FIGURA 8 | Sistema para reuso da água na limpeza das instalações.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Vale do Jotuva/PR.

2.4 Bebedouros para Gado de Corte e Leite

Os bebedouros devem oferecer água de qualidade, no volume necessário e não devem apresentar vazamentos. Podem ser individuais ou para grupos de animais. Quando para grupos, devem ser dimensionados levando em consideração o período de maior consumo, que geralmente ocorre nos meses mais quentes do ano, o número de animais por grupo ou curral e o tipo de dieta fornecida.

Os bebedouros não devem ser localizados próximos aos comedouros, pois a contaminação com alimento poderá ocorrer. Independente do tamanho do bebedouro e tipo de material que é construído recomenda-se 50 cm de profundidade com uma vazão mínima de 3%/minuto do volume estimado para

consumo diário (BRANCO, 2015). Sugere-se respeitar o comprimento mínimo de 40 cm lineares por animal (SANTOS; CORRÊA; BALSALOBRE, 2005).

Existem diversos modelos de bebedouros disponíveis, com diferentes capacidades de armazenamento, alguns confeccionados com materiais reciclados como pneus de tratores ou tambores plásticos. Como a qualidade da água irá afetar diretamente o consumo de alimento e, como consequência, o desempenho dos animais, deve haver atenção quanto ao material de confecção do bebedouro e o modelo escolhido, pois esses dois aspectos vão influenciar na facilidade de limpeza.

O mais importante é que os bebedouros consigam suprir a exigência diária de água dos animais, sejam

FIGURA 9 | Bebedouro utilizado em um confinamento de bovinos de corte.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Fazenda Santa Alice/PR.

FIGURA 10 | Bebedouro utilizado em galpão de bovinos leiteiros.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Sekita Agropecuária/MG.

mantidos limpos e sem vazamentos. Modelos que utilizam boias para controlar o nível de água facilitam o manejo. Na hora da limpeza do bebedouro, uma maneira interessante de se trabalhar, que facilita o manejo e evita o desperdício de água, é travar a boia por algumas horas para que os animais consumam a água até restar uma pequena lâmina. O restante deve então ser retirado e, após a limpeza do bebedouro, a boia liberada para que ocorra o enchimento.

2.5 Métodos Racionais de Lavagem

Alguns trabalhos identificaram que por meio de manejos simples ou da mudança de hábitos e também da qualificação da equipe de trabalho, é possível uma economia de até 30% da água somente dentre das instalações de ordenha (ROSSO, 2016).

Algumas medidas que racionalizam o uso da água estão contidas na Instrução Normativa nº 62, de 29 de dezembro de 2011 do MAPA (BRASIL, 2011), que estabelece que todas as dependências da granja destinadas à produção e abrigo de animais em unidades de produção de leite tipo A devem possuir mangueira com água sob pressão, além de água quente nas seções de sanitização, beneficiamento, industrialização e envase, assim como no local de limpeza de caixas plásticas. Quanto à limpeza do equipamento de ordenha e do equipamento de refrigeração do leite, devem ser seguidas as orientações do fabricante.

Durante a lavagem com água, utilizar sistemas de alta pressão com baixa vazão (lava-jatos) (OLIVEIRA, 2004). O excesso de água no sistema de manejo de dejetos pode causar (GEBLER; PALHARES, 2007): superdimensionamento das instalações de tratamento, com aumento dos custos; baixa eficiência de alguns sistemas; maior consumo de produtos químicos e de energia elétrica e; maior utilização de sistemas de transporte do dejetos.

2.6 Métodos de Mensuração do Uso e Consumo da Água

A mensuração do uso e consumo da água é um procedimento importante a ser feito, tem baixo custo e trará informações que darão auxílio na tomada de decisão quanto aos aspectos econômicos, de produção, sociais e ambientais. A partir do conhecimento do consumo de água de cada segmento na propriedade (captação de água, reservatórios, dessedentação dos animais, lavagem de equipamentos e instalações e outros usos), será possível fazer um comparativo com valores padrões (PALHARES, 2013).

A utilização de hidrômetros é hoje a forma mais simples de realizar essas medições. Conhecendo qual seria o consumo normal de água pelos animais e a quantidade de água necessária nos demais processos de produção, os registros dos hidrômetros podem fornecer não só uma

percepção da saúde dos animais, mas também se há algum vazamento no sistema ou demasiado consumo devido a alguma característica em particular, que posteriormente pode ser corrigida. Menos perdas irão ocorrer se o sistema hidráulico for mantido em bom estado de conservação e os bebedouros estiverem bem ajustados.

Profissionais habilitados devem ser consultados para que indiquem qual o melhor hidrômetro a ser adquirido de acordo com as características estruturais e hídricas de cada propriedade, pois, caso

esse equipamento não seja o ideal, os valores medidos não traduzirão consumos reais (PALHARES, 2013).

É recomendado que os hidrômetros sejam instalados em cada instalação de criação, bem como no interior das instalações, com um equipamento que mensure a quantidade de água consumida pelos animais e outro a água destinada à limpeza, resfriamento, e demais usos. As leituras dos hidrômetros devem ser realizadas mensalmente ou em intervalos menores em casos de estiagem ou mudanças na dieta (PALHARES, 2013).



3

USO RACIONAL DO
CONCENTRADO
E VOLUMOSO



PECUÁRIA
DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO

É importante considerar que o termo ração para ruminantes pode ser entendido como todo o alimento ingerido pelo animal em um período de um dia. Os alimentos dos ruminantes são classificados como volumosos e concentrados (CARDOSO, 1996).

A produção de um grande número de animais concentrados em pequenas áreas a fim de melhorar eficiência produtiva pode aumentar os riscos de ocorrência de problemas ambientais, de modo que programas adequados de nutrição, alimentação e manejo são necessários para reduzir esses riscos. Quantidades excessivas de nutrientes na dieta, os quais não são aproveitados nem para a manutenção do animal nem para a produção de carne ou leite, serão eliminadas nas fezes e urina. Isso contribui com a poluição ambiental além do aumento do custo de produção, uma vez que nutrientes estão sendo desperdiçados.

A dieta total definida para cada fase do ciclo de produção de leite e carne deve ser formulada com os melhores padrões científicos e fornecida de maneira adequada proporcionando menores volumes de dejetos. Produtos e tecnologias utilizadas na ração que melhoram o desempenho e a eficiência na conversão do alimento em carne e leite devem ser considerados.

Aumentado a eficiência na produção de leite, isto é, maior quantidade de leite produzido por vaca, exigirá menos animais para produzir a mesma quantidade de leite. Os nutrientes da dieta estarão sendo utilizados com maior eficiência e a excreção de resíduos será menor. Com isso, evita-se que o sistema de aproveitamento dos dejetos se sobrecarregue.

Os regimes de alimentação mais eficientes são aqueles que fornecem os nutrientes necessários e nas quantidades mais próximas às necessidades dos animais, sem excesso. Dessa forma, haverá otimização da síntese de leite e componentes do leite, melhora da fermentação e crescimento de microrganismos ruminais e menor perda de nutrientes para o ambiente na forma de fezes, urinas e gases.

Os carboidratos perfazem uma ampla porcentagem da dieta. Qualquer ferramenta que promova o aumento da digestibilidade desse componente irá aumentar a energia disponível para o animal, diminuindo o volume de esterco produzido. Já uma dieta com excesso de proteína bruta não será utilizada para funções produtivas, sendo um desperdício de dinheiro ao produtor, causando também prejuízo ao ambiente devido ao aumento do volume de dejetos.

3.1 Principais Alimentos Volumosos e Concentrados Usados na Pecuária Intensiva de Corte e Leite

Os alimentos destinados para bovinos confinados podem ser classificados dentro de dois grupos:

- I. Alimentos volumosos – apresentam mais de 18% de fibra bruta e baixo valor energético, ou menos de 60% de nutrientes digestíveis totais. Os principais alimentos incluídos nesse grupo são as forrageiras fornecidas verdes e picadas no cocho, silagens (ex. milho, sorgo, capim, cana de açúcar), feno, restos culturais e resíduos de agroindústrias.
- II. Alimentos concentrados – contêm menos de 18% de fibra bruta e alto valor energético, ou mais de 60% de nutrientes digestíveis totais. Podem ser divididos em concentrados energéticos, os quais apresentam menos de 20% de proteína bruta, representados principalmente pelos grãos e cereais (ex. milho, sorgo, trigo, arroz, melão, polpa cítrica), raízes e tubérculos (ex. mandioca, batata) e óleos de origem vegetal. O outro grupo é formado pelos concentrados proteicos, compostos por mais de 20% de proteína bruta, representados por oleaginosas (ex. farelo de soja, farelo de caroço de algodão, farelo de amendoim).

FIGURA 11 | Silagem de forrageira.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Sekita Agropecuária/MG

FIGURA 12 | Caroço de algodão para alimentação de bovinos.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Vale do Jotuva/PR

O milho grão triturado representa a principal fonte de energia em rações de bovinos no Brasil. O sorgo, cultura mais resistente ao clima seco, é um substituto próximo ao milho no processo de fabricação de ração para animais (CONAB, 2017) e detém o segundo lugar em utilização em unidades de confinamento no País (CLARINDO, 2006). Nessas unidades, a moagem é a principal forma de processamento de grãos (CLARINDO, 2006). A moagem fina geralmente é uma forma eficiente de aumento da disponibilidade do amido dos grãos (carboidrato constituinte de grande parte dos grãos de cereais e geralmente a fonte primária de energia em rações) a valores que promovam desempenho satisfatório de animais confinados. Entretanto, a silagem de grão úmido disponibiliza mais energia (CLARINDO, 2006).

No que diz respeito às fontes de proteína verdadeira (ou seja, excluindo aquelas de nitrogênio não proteico, como a ureia), dentre as mais utilizadas comercialmente no Brasil estão o farelo de soja e a soja em grãos, o farelo e o caroço de algodão, o resíduo de cervejaria, o farelo de glúten de milho e o farelo de amendoim (SANTOS, 2005 apud CLARINDO, 2006).

Os alimentos geralmente são classificados ou descritos considerando sua matéria seca, fração do alimento (excluída a umidade natural deste) onde estão contidos os nutrientes (carboidratos, proteínas, minerais, vitaminas) (CARDOSO, 1996). O teor de umidade sofre grande amplitude

de de acordo com o alimento, variando desde aproximadamente 75% para gramíneas frescas até 10% para fenos (CARDOSO, 1996).

3.2 Métodos de Conservação de Alimentos que Favorecem a Redução de Emissões

A implementação de processos de redução das emissões de metano entérico pelos animais, além de favorecer o meio ambiente melhora o desempenho dos animais, visto que a produção de metano resulta em uma perda entre 2 a 12% de energia bruta consumida (JOHNSON; JOHNSON, 1995), com uma média de 6,17% em estudos nacionais.

A produção de forragens conservadas está associada a um impacto ambiental que pode variar em amplitude conforme as etapas executadas durante o processo (SOUZA; SCHMIDT, 2015). Esse impacto está diretamente relacionado às perdas no processo produtivo e os esforços para diminuir os danos ambientais concentram-se em melhorar a recuperação da matéria seca, nutrientes ou energia, reduzindo de forma indireta o impacto ambiental causado pela atividade (SOUZA; SCHMIDT, 2015). Reduzir as perdas durante os processos de conservação é o objetivo principal a ser atingido.

Métodos de conservação e processamento de forragem podem afetar a produção entérica de CH_4 ,

entretanto, ainda há pouca informação sobre o assunto. A metanogênese tende a ser menor quando as forragens são ensiladas em comparação a quando são secas (MARTIN; MORGAVI; DOREAU, 2010).

3.2.1 Processamento de forragens

Os fatores mais preponderantes no processamento das forragens que podem diminuir amplamente a produção de metano são os processos de moagem e peletização, provavelmente devido a rápida taxa de passagem dos alimentos que sofrem esses processos (CARMONA; BOLIVAR; GIRALDO, 2005). Alimentos com maior tamanho de partícula permanecem mais tempo no rúmen (menor taxa de passagem). Quando as forragens são finamente trituradas ou granuladas a produção de CH_4 tende a ser menor do que quando grosseiramente picadas (MARTIN; MORGAVI; DOREAU, 2010). No entanto, o decréscimo na produção de metano não é aparente quando a ingestão desse tipo de dieta é restrita. Sob alta ingestão, a perda de metano por unidade de dieta pode ser reduzida entre 20-40% (JOHNSON; JOHNSON, 1995).

Forragens mal picadas prejudicam a compactação no silo e podem afetar a qualidade final do alimento. Por outro lado, o excesso de picagem provoca distúrbios digestivos devido ao menor tempo de mastigação e ruminação, fatores que diminuem a salivação e ocasionam acidose ruminal que, por conseguinte, pode acarretar uma série de problemas.

3.2.2 Silagem

As perdas mecânicas ou por respiração que ocorrem no campo não geram impacto pelo resíduo deixado, mas reduzem a produtividade final da silagem (SOUZA; SCHMIDT, 2015). A silagem de cana-de-açúcar produziu em média 113 g de equivalente-carbono ($\text{CO}_2\text{-eq}$) por tonelada de forragem ensilada (SCHMIDT et al., 2013), valor muito inferior a estimativa de 6 kg de $\text{CO}_2\text{-eq}$ por litro de leite produzido (SOUZA; SCHMIDT, 2015). Assim, perdas por GEE parecem ser insignificantes quando em comparação com outras fontes emissoras de gases em uma fazenda (SCHMIDT et al., 2013).

As silagens de grãos normalmente fornecem alta quantidade de matéria seca, são de fácil digestão e aumentam a ingestão e desempenho dos animais (BEAUCHEMIN et al., 2008). Existem alguns mecanismos pelos quais estas forragens podem reduzir as emissões de CH_4 , no entanto, são necessários mais estudos que comparem diretamente a silagem de capim com silagens de cereais quantificando a redução de CH_4 que pode ser atingida (BEAUCHEMIN et al., 2008). É importante considerar nessas comparações toda a contribuição da propriedade nas emissões de GEE além do CH_4 (BEAUCHEMIN et al., 2008), ou seja, toda a produção de gases decorrente do cultivo, corte, processamento, transporte e distribuição do alimento.

3.2.2.1 Uso de silagem de grão úmido

A técnica de silagem de grãos úmidos foi desenvolvida nos Estados Unidos no final da década de 50 e chegou ao Brasil nos anos 80 (GREGO; ROSA, 2002). A produção de silagem de grão úmido de milho permite que o alimento seja estocado na propriedade de uma maneira prática, econômica e sem afetar os valores nutricionais do milho.

Diferente do armazenamento tradicional do milho, na forma seca, em que o grão é colhido com 18% de umidade (GREGO; ROSA, 2002), para a silagem de grão úmido são estocados somente os grãos da planta de milho colhidos quando atingirem entre 30-40% de umidade, sendo que os melhores resultados são obtidos com umidade entre 32-35% (NUMMER FILHO, 2001). Com teores de umidade acima de 35% ocorrem perdas de matéria seca com comprometimento do valor nutritivo da silagem (JOBIM; BRANCO; SANTOS, 2003).

A campo, o ponto de colheita pode ser observado quando a espiga apresenta-se com palha seca e o grão apresenta uma camada preta em sua base, indicando que já completou a maturação fisiológica, o que normalmente ocorre aproximadamente 50 dias após a polinização (JOBIM; BRANCO; SANTOS, 2003).

O processamento do grão se dá pelos métodos de quebra, moagem ou laminação. Esses processos aumentam a

degradação ruminal do amido e favorecem a produção de ácidos graxos e proteína microbiana (JOBIM; BRANCO; SANTOS, 2003). O processamento deve ser feito imediatamente após a colheita e a compactação deve ser realizada preferencialmente no mesmo dia evitando perda de qualidade (NUMMER FILHO, 2001).

Para vacas em lactação, se tem verificado que os processos de laminar ou moer permitem um melhor aproveitamento do grão (JOBIM; BRANCO; SANTOS, 2003). O processo de laminar consiste em amassá-los entre cilindros para que sua estrutura seja rompida (NUMMER FILHO, 2001). Caso seja moído muito fino, pode haver redução no teor de gordura, recusa do alimento e comprometimento da saúde do animal (JOBIM; BRANCO; SANTOS, 2003).

Para o processo de ensilagem de grãos deve haver os mesmos cuidados relativos ao carregamento, compactação, vedação e descarregamento do silo que são utilizados para conservação de qualquer forrageira (JOBIM; BRANCO; SANTOS, 2003).

Além de vantagens econômicas, como baixo investimento de armazenamento, isenção de taxas e impostos e não haver descontos de umidade e impurezas, destacam-se também as vantagens relacionadas a um melhor aproveitamento do alimento:

- diminuição das perdas a campo, devido ao ataque de pássaros e de insetos;

USO RACIONAL DO CONCENTRADO E VOLUMOSO

- não há transporte do grão desde a fazenda até a cooperativa ou fábrica de ração e nem da cooperativa ou fábrica até a fazenda, evitando assim perdas relacionadas ao deslocamento dos grãos;
 - a digestibilidade do alimento também é maior, melhorando o desempenho dos animais e dessa forma reduzindo tanto os custos de produção como a poluição ambiental ocasionada pela excreção de nutrientes nas fezes.
- menor perda quantitativa e qualitativa durante o período de armazenagem do produto devido ao ataque por fungos, ratos e carunchos.
- A utilização de silagem de grão úmido se mostra uma tecnologia significativamente favorável na melhora do desempenho animal e diminuição dos custos de produção.

FIGURA 13 | Silagem de grão úmido confeccionada na própria propriedade.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Vale do Jotuva/PR

3.2.3 Feno

De forma geral, as perdas no processo de fenação impactam pouco o ambiente. As vantagens ambientais que o processo de fenação apresenta sobre a ensilagem e pré-secados são a ausência de embalagem com lona ou filme plástico e nenhuma produção de efluentes (SOUZA; SCHMIDT, 2015).

No entanto, além das operações mecanizadas da preparação da terra, plantio e manejo da cultura, comuns tanto para a produção de feno como silagem, o feito de feno necessita de várias outras operações (sega, reviragens, enleiramento, enfardamento e recolhimento dos fardos), além de uma operação (embalagem) no caso de pré-secados em fardos

embalados (SOUZA; SCHMIDT, 2015). Para a produção de silagem apenas duas operações são feitas (colheita e picagem e compactação no silo com o trator (SOUZA; SCHMIDT, 2015). Dessa forma, o gasto energético por quantidade de feno produzida é maior, tornando o consumo de combustíveis fósseis como o principal fator responsável pelo impacto ambiental gerado pela produção do feno.

A utilização de variedades de milho, sorgo, soja ou qualquer outra matéria-prima destinada à alimentação animal que apresentem maior potencial produtivo pode resultar em menor emissão de GEE por unidade de produto. Da mesma forma, o uso de tratores e implementos mais eficientes são métodos que contribuem para mitigar as emissões de GEE na agricultura.

FIGURA 14 | Feno de Tifton-85.



Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Fazenda Seis Amigos/MT.

FIGURA 14 | Feno pré-secado de Tifton-85.



Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Fazenda Seis Amigos/MT.

3.2.4 Capineiras

As capineiras, como o capim elefante e a cana-de-açúcar fornecida diretamente no cocho, são os métodos mais simples de conservação de forragens. O processo envolve poucas etapas mecanizadas e gera um impacto ambiental relativamente menor do que a ensilagem ou fenação, além de apresentar perdas menores e não produzir efluentes em comparação com a ensilagem (SOUZA; SCHMIDT, 2015). Um fator a ser considerado é a distância entre a lavoura e o cocho, pois quanto maior for essa distância maior será a utilização de combustível fóssil para o transporte da capineira e consequentemente maior o impacto ambiental.

3.3 Uso de Aditivos Melhoradores da Fermentação de Volumosos

Entre os temas relacionados à conservação de forragens, a utilização de aditivos com o intuito de modificar o processo fermentativo, reduzir as perdas e/ou melhorar o valor nutricional das silagens vem sendo o mais pesquisado (SCHMIDT; SOUZA, BACH, 2014). Uma classificação dos aditivos mais frequentemente usados no Brasil pode separá-los em três grupos: aditivos químicos, aditivos microbianos e sequestrantes de umidade.

Os aditivos químicos tem maior aplicação em silagens de cana-de-açúcar, os sequestrantes de umidade são recomendados para silagens de forragens úmidas, como capins tropicais e de clima temperado e, os aditivos microbianos possuem vasta gama de possibilidade de aplicação (SCHMIDT et al., 2014). Na atualidade, os aditivos estimulantes da fermentação são os mais utilizados, destacando-se os inoculantes microbianos (SCHMIDT et al., 2014).

Dentre os objetivos do uso de inoculantes em silagens de grão úmido citam-se a melhora no processo de fermentação, reduzindo perdas durante o processo e perdas superficiais no silo, melhorar a palatabilidade, o consumo, ganho de peso e conversão alimentar dos animais (NUMMER FILHO, 2001). No entanto, o uso de inoculantes microbianos tem mostrado pouco efeito benéfico ao desempenho animal (JOBIM; BRANCO; SANTOS, 2003). Por outro lado, com seu uso ocorre redução das perdas (melhor coeficiente de aproveitamento da silagem - CAS), melhorando a eficiência econômica do processo (JOBIM; BRANCO; SANTOS, 2003).

A fermentação dos grãos é mais lenta e em menor extensão comparado a silagem da planta de milho (JOBIM; BRANCO; SANTOS, 2003). Os aditivos estimulantes da fermentação aumentam a produ-

ção de ácido láctico, promovendo maior velocidade de acidificação da silagem e minimizam as perdas de matéria seca (JOBIM; BRANCO; SANTOS, 2003).

No caso de silagem de grão úmido observa-se que, com a utilização de inoculantes, a fermentação é concluída entre 5-8 dias, cerca de 20 dias a menos caso não fosse utilizado inoculante (NUMMER FLHO, 2001). Com isso, diminuem-se as perdas com material estragado e de baixa qualidade.

A aplicação de aditivos em silagens é uma estratégia que deve ser utilizada com critérios bem definidos, respeitando as doses e métodos de aplicação e analisando as características individuais da cultura que será ensilada e seus objetivos com a aplicação do aditivo. Seu uso, além de evitar perdas em quantidade e qualidade pode acarretar em ganhos adicionais quando aplicados em silagens bem produzidas. Em silagens de milho e sorgo, por exemplo, se todas as recomendações técnicas de produção e manejo das silagens forem respeitadas, garantindo sua qualidade, os aditivos são dispensáveis.

Por outro lado, em silagens de cana-de-açúcar, que apresentam maior risco de perdas durante todo o processo, o uso de aditivos é obrigatório, considerando o potencial do aditivo para inibir o desenvolvimento de leveduras e assegurar maior recuperação de matéria seca (SCHMIDT et al, 2014). Até o momento, a bactéria *Lactobacillus buchneri* é a melhor opção de inoculante microbiano para a ensilagem de cana (SCHMIDT et al, 2014).

3.4 Estratégias Nutricionais para Diminuição da Produção de Metano

A manipulação da dieta dos ruminantes é uma alternativa viável para diminuição da produção de metano bem como redução das perdas energéticas pelo animal (CARMONA; BOLIVAR; GIRALDO, 2005). Uma nutrição adequada propicia o aumento das taxas de passagem e de fermentação e diminuição do tempo que o alimento permanece no rúmen. Essas condições reduzem a quantidade de hidrogênio disponível para produção de metano.

Alguns dos fatores que interferem na perda de metano pelo animal incluem o nível de ingestão de alimento, tipo de carboidrato ingerido, processamento da forragem, adição de lipídios e manipulação da microflora ruminal, incluindo o uso de ionóforos (JOHNSON; JOHNSON, 1995).

A redução de CH_4 tem sido associada à diminuição das populações de protozoários, já que os mesmos são conhecidos por produzir hidrogênio e ter relação simbiótica com bactérias metanogênicas. Dessa forma, diminuindo a população de protozoários no rúmen ocorre uma consequente diminuição de transferência de hidrogênio entre protozoários e bactérias metanogênicas, reduzindo a produção de metano. Porém, mudanças na composição da dieta a fim de diminuir a população de protozoários podem gerar distúrbios que prejudiquem o animal.

3.4.1 Alimentação de precisão

A alimentação de precisão é uma forma de aproximar ao máximo possível os nutrientes necessários para a manutenção, crescimento e produção dos animais. Consiste no fornecimento de alimentos balanceados com nutrientes na quantidade que determinado animal (de acordo com sua raça, idade, fase produtiva) precisa para essas atividades. Ao monitorar de forma constante a matéria seca e a composição nutricional dos alimentos, os produtores podem evitar sobrealimentação, minimizando os custos e reduzindo a excreção de nutrientes que poderiam ocasionar aumento nas emissões (PLACE; MITLOEHNER, 2010).

3.4.2 Tipo de volumoso

O tipo de volumoso que o animal ingere influencia a emissão de metano (g/kg de matéria seca ingerida), sendo que o consumo de leguminosas geralmente proporciona menor emissão de CH_4 em relação ao consumo de gramíneas e, gramíneas C4 (ex.: milho, cana de açúcar, sorgo) podem produzir mais metano do que as C3 (PEREIRA, 2013).

3.4.3 Tipo de carboidrato

O aumento no nível de concentrado na dieta provoca diminuição da emissão de metano em

relação à energia ingerida ou expressa em unidade de produto animal (carne e/ou leite) (PEREIRA, 2013). O principal componente que afeta a produção de metano é o tipo de carboidrato e a taxa de fermentação (CHANDRAMONI et al., 2000).

A substituição de carboidratos fibrosos (celulose e hemicelulose) por não fibrosos (amido e açúcares) modifica as condições físico-químicas do rúmen e a população microbiana (PEREIRA, 2013). Isso resulta em mudança na produção de ácidos graxos voláteis, aumentando a proporção de propionato e reduzindo o acetado, diminuindo assim a disponibilidade de hidrogênio e a produção de metano (PEREIRA, 2013).

Uma das principais indicações feitas para reduzir o CH_4 na produção de bovinos é aumentar o valor alimentício das dietas (PEDREIRA et al., 2005). No entanto, principalmente quando são utilizados alimentos concentrados na dieta dos animais, é importante considerar que os processos de produção, colheita e transporte dos grãos podem vir a emitir GEE, como CO_2 e óxido nitroso, em maiores quantidades que a redução da emissão do metano entérico causada pela inclusão desses ingredientes na dieta (PEREIRA, 2013). O óxido nitroso, GEE com 14 vezes mais poder em reter calor que o CH_4 , é proveniente do nitrato gerado pelos fertilizantes nitrogenados utilizados nas lavouras de grãos e pastagens (PEDREIRA et al., 2005).

3.4.4 Utilização de gorduras

A utilização de gorduras insaturadas como as provenientes da semente de girassol também é recomendado para redução de bactérias metanogênicas. A redução na produção de metano pode ser atribuída a um efeito direto dos ácidos graxos sobre essas bactérias, ou indiretamente, pela inibição das populações de protozoários e bactérias metanogênicas associados devido a produção maior de propionato.

Os lipídios que geralmente são utilizados na redução da fermentação entérica são sais de cálcio de ácidos graxos, gorduras hidrogenadas, óleos vegetais extraídos, oleaginosas e resíduos do processamento de plantas com alto teor de gordura (LOZANO et al., 2017). A efetividade da adição de lipídios sobre a redução do CH_4 depende de diversos fatores, dentre os quais o nível de inclusão, origem do lipídeo, perfil de ácidos graxos, forma na qual é administrado (óleo refinado, por exemplo) e tipo da dieta (BEAUCHEMIN et al., 2008).

O uso de gorduras na dieta parece ser uma alternativa promissora na diminuição da metanogenese sem afetar outros parâmetros ruminais (MARTIN; MORGAVI; DOREAU, 2010). É recomendado que a adição de lipídeos na dieta não ultrapasse 6-7% da matéria seca para evitar redução do consumo de matéria seca pelo animal (BEAUCHEMIN et al., 2008).

3.4.5 Utilização de aditivos

A utilização de aditivos na produção de bovinos objetiva a manipulação do ecossistema do rúmen a fim de diminuir, eliminar ou alterar processos ineficientes, como a emissão de metano entérico. Os aditivos que agem sobre a fermentação ruminal e reduzem ou apresentam potencial para reduzir a perda de energia em forma de CH_4 são: ionóforos, extratos de plantas, ácidos orgânicos, probióticos, enzimas e nitrato.

3.4.5.1 Ionóforos

Antibióticos ionóforos (particularmente monensina, lasalocida e salinomina) podem ser utilizados para alteração da fermentação ruminal, aumentando a proporção de propionato.

A suplementação de bovinos com monensina pode diminuir entre 27-30% a emissão de metano entérico por duas a quatro semanas, dependendo do conteúdo de energia na dieta. O decréscimo parece estar relacionado à diminuição transitória no número de protozoários ciliados no fluido ruminal, entretanto, pode haver adaptação da população desses protozoários aos ionóforos ao longo do tempo e a rotação no uso de monensina e lasalocida não previne ou retarda essa adaptação (GUAN et al., 2006).

A partir de certo ponto a microflora ruminal parece mostrar alguma resistência à utilização de ionóforos e seu efeito cessa, entretanto, Odongo et al. (2007)

observaram que a adaptação à ionóforos nem sempre ocorre. Em seu estudo, vacas leiteiras produziram menor quantidade de CH_4 durante seis meses quando a monensina foi adicionada a dieta.

Os ionóforos são substâncias proibidas na União Europeia pelo receio de deixar resíduos no alimento e é crescente a pressão da sociedade contra o uso desse tipo de aditivo na alimentação animal. Com isso, métodos alternativos de manipulação do ambiente ruminal têm sido propostos.

3.4.5.2 Compostos secundários de plantas

Há um crescente interesse na utilização de compostos secundários de plantas como forma de diminuir a emissão de metano, já que representam uma alternativa natural em relação à utilização de aditivos químicos (PEREIRA, 2013). Esses compostos principalmente taninos, saponinas e óleos essenciais, têm sido bastante utilizados na redução das emissões de metano por afetar direta ou indiretamente as bactérias metanogênicas, além de reduzir a população de protozoários.

Os taninos podem ser divididos em hidrolisáveis e condensados. A atividade antimetogênica tem sido atribuída principalmente ao grupo de taninos condensados (PEREIRA, 2013). Existem alguns inconvenientes na utilização de taninos como, por exemplo, efeito tóxico causado pela ingestão de altas

concentrações dos taninos hidrolisáveis (REED, 1995) e redução no desempenho de animais alimentados com altas concentrações de taninos condensados (BEAUCHEMIN et al., 2008), no entanto, os taninos de algumas origens parecem ser eficazes na redução da emissão de CH_4 .

As saponinas, encontrados em muitas plantas como *Brachiaria decumbens* e *Medicago sativa* (alfafa) (PEREIRA, 2013), também são eficazes na redução da produção de CH_4 devido, principalmente, as suas propriedades anti-protozoários. Esse composto não inibe a atividade bacteriana normal, porém, a remoção de protozoários do rúmen (defaunação) causa efeitos sobre o metabolismo de fibras e proteínas. Desse modo, o uso de substâncias que causem defaunação deve ponderar esse efeito (PEREIRA, 2013).

Entre os óleos essenciais (compostos responsáveis pelo odor e cor de algumas plantas) destaca-se o extraído do alho (*Allium sativa*), que apresentou efeito sobre a metanogênese in vitro (PEREIRA, 2013). É necessário identificar qual o nível de inclusão mais eficaz dos óleos essenciais na dieta, assim como demonstrar se microrganismos ruminais se adaptam ao uso desse aditivo alimentar (BOADI et al., 2004).

3.4.5.3 Aditivos enzimáticos

Alguns estudos preliminares sugerem evidências de que é possível desenvolver enzimas comerciais para

redução da emissão de CH_4 (BEAUCHEMIN et al., 2008). A menos que subprodutos de levedura possam ser utilizados de forma confiável na redução da produção de metano, a adição das enzimas celulase e hemicelulase à dieta parecem ser os

aditivos com melhor custo-benefício na redução do metano (BELL; ECKARD, 2012), as quais, quando devidamente formuladas, podem melhorar a digestão de fibras e também o desempenho de ruminantes (BEAUCHEMIN et al., 2003).



4

TECNOLOGIAS PARA O APROVEITAMENTO ECONÔMICO DOS RESÍDUOS DE BOVINOS



PECUÁRIA
DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO

Os dejetos incluem o material excretado pelos animais (urina e fezes), cama utilizada, água (de consumo e lavagem das instalações) e alimento desperdiçados e pelos. A quantidade de dejetos produzidos varia entre explorações agrícolas, composição da dieta (à base de

forragem ou à base de grãos), idade dos animais, produtividade animal, ambiente e consumo de água, além de flutuações sazonais dentro de uma mesma propriedade. Já as características químicas desse dejetos sofrem influência principalmente da composição química da dieta.

TABELA 5 | Produção e características dos dejetos (valores em animal/dia) de bovinos de corte e leite. As características reais dos dejetos podem variar em torno de 30% dos valores tabelados, devido à genética, dieta, desempenho dos animais e manejo da propriedade.

Animal	Peso	DT	Água	Densidade	ST	SV	DBO	Conteúdo de Nutrientes		
	(kg)	(kg)	(%)	(kg/m3)	(kg/dia)	(kg/dia)	(kg/dia)	(kg N)	Kg (P ₂ O ₅)	(K ₂ O)
Bovino/leite										
Bezerra	68	5,4	88	1041	0,64	0,54	0,09	0,03	0,004	0,02
	113,4	9,1	88	1041	1,09	0,91	0,14	0,05	0,01	0,04
Novilha	340,2	20,4	88	1041	3,04	2,59	0,31	0,10	0,04	0,10
	453,6	27,2	88	1041	4,04	3,45	0,42	0,14	0,05	0,14
Vaca em lactação	453,6	50,3	88	993	6,49	5,49	0,76	0,33	0,17	0,18
	635	70,3	88	993	9,07	7,71	1,06	0,46	0,24	0,26
Vaca seca	453,6	23,1	88	993	2,95	2,49	0,34	0,14	0,05	0,11
	635	32,2	88	993	4,13	3,49	0,47	0,19	0,07	0,15
	771,1	39,5	88	993	4,99	4,22	0,58	0,23	0,08	0,18
Vitela	113,4	3	96	993	0,12	0,05	0,02	0,01	0,01	0,02

DT = dejetos totais; ST = sólidos totais; SV = sólidos voláteis; DBO = demanda bioquímica de oxigênio. Oxigênio utilizado na oxidação bioquímica da matéria orgânica em cinco dias a 20°C. Fonte: Adaptado de Lorimor e Powers (2004).

TECNOLOGIAS PARA O APROVEITAMENTO
ECONÔMICO DOS RESÍDUOS DE BOVINOS

Animal	Peso	DT	Água	Densidade	ST	SV	DBO	Conteúdo de Nutrientes		
	(kg)	(kg)	(%)	(kg/m ³)	(kg/dia)	(kg/dia)	(kg/dia)	(kg N)	Kg (P ₂ O ₅)	(K ₂ O)
Bovino/corte										
Bezerro (confinamento)	204,1	21,8	92	1009	1,73	1,45	0,48	0,09	0,04	0,07
	294,8	31,3	92	1009	2,5	2,10	0,69	0,13	0,06	0,10
Terminação	340,2	16,8	92	1009	1,35	1,10	0,27	0,12	0,04	0,08
	499	24,5	92	1009	1,97	1,61	0,40	0,18	0,05	0,11
Vaca (confinamento)	453,6	41,7	88	1009	5,0	4,25	0,93	0,16	0,08	0,13

DT = dejetos totais; ST = sólidos totais; SV = sólidos voláteis; DBO = demanda bioquímica de oxigênio.
Oxigênio utilizado na oxidação bioquímica da matéria orgânica em cinco dias a 20°C. Fonte: Adaptado de Lorimor e Powers (2004).

A DBO representa a quantidade de oxigênio necessária para a estabilização da matéria orgânica biodegradável por meio da ação de microorganismos. Quanto maior a DBO, mais poluente é o resíduo e mais difícil é seu tratamento (BERTONCINI, 2008).

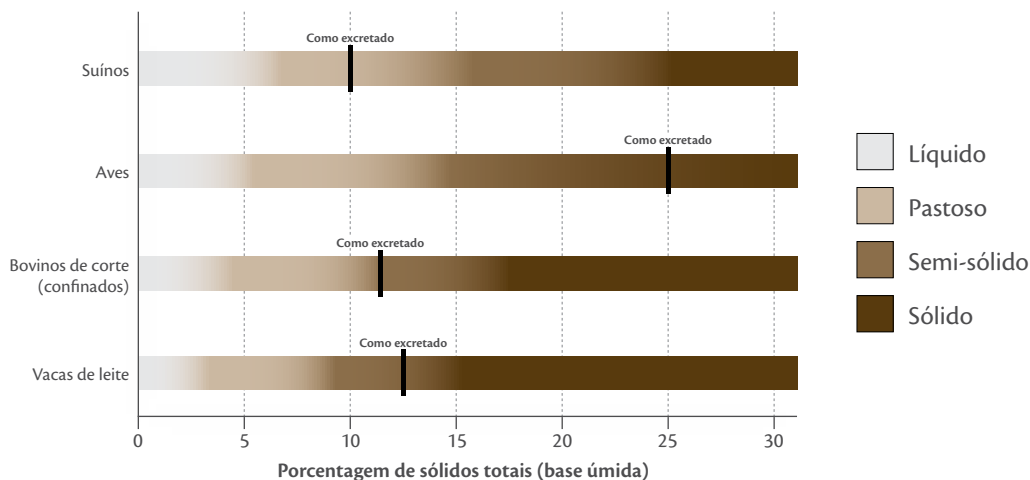
Deve-se atentar que dados tabelados de produção de dejetos podem tornar-se obsoletos ao longo do tempo, devido à mudanças na genética dos animais, programas de alimentação, manejo individual da fazenda, entre outros fatores. No entanto, fornecem uma estimativa aproximada, em larga escala, não considerando uma propriedade em específico.

Como exemplo dado por Gebler e Palhares (2007), um confinamento com 100 vacas leiteiras com peso médio de cerca de 600 kg produz em média 50 kg/dia de esterco por animal. Se forem adicionados a esse volume, a urina, a água de consumo que foi desperdiçada, a água de lavagem da ordenha, dentre outros, estima-se a produção de até 100 kg/dia de dejetos. Isso totaliza cerca de 10.000 kg/dia, ou 10 m³/dia, a serem coletados, transportados, estocados, tratados e utilizados.

As características de manuseio dos dejetos variam conforme sua consistência (Figura 16). Essa consistência pode ser classificada de quatro formas (LORIMOR; POWERS, 2004):

- **Líquido:** dejetos com até 4% de sólidos. Podem ser manuseados como um líquido por meio de equipamento de irrigação.
- **Pastoso:** dejetos entre 4-10% de sólidos. Podem requerer bombas especiais para serem manuseados. Os dejetos de vacas de leite misturados com a água proveniente da limpeza da sala de ordenha geralmente são manejados como sendo pastosos.
- **Semi-sólido:** dejetos com conteúdo de sólidos entre 10-20%. O manejo deste tipo de dejetos varia em função do tipo de sólidos presentes como, por exemplo, a quantidade de substrato de cama presente. Pode ser muito difícil de manusear e é típico de muitos sistemas de produção leiteira. Os dejetos são muito sólidos para serem bombeados e muito líquidos para serem retirados com uma pá carregadeira ou concha. Neste caso, pode ser necessário adicionar água aos dejetos para posterior manuseio.
- **Sólido:** dejetos com 20% de sólidos (80% de umidade) ou mais. Podem ser manuseados com pá carregadeira ou garfo.

FIGURA 16 | Características relativas de manuseio de diferentes tipos de dejetos para algumas espécies. As linhas denominadas “como excretado” indicam o teor de sólidos normal para dejetos de animais saudáveis.



Fonte: Adaptado de Lorimor e Powers (2004).

O armazenamento e manejo dos dejetos possui potencial de produção de GEE. Estas emissões podem ser amplamente reduzidas pela substituição do armazenamento aberto dos dejetos por um sistema fechado de digestão anaeróbia (sem a presença de oxigênio) por meio de biodigestores. Também pode ocorrer mitigação de GEE em processos de digestão aeróbia (com a presença de oxigênio), por meio do sistema de compostagem, seja na própria instalação que o animal está alojado (*compost barn*) ou fora dela (compostagem mecanizada).

Além do problema das emissões de GEE, a simples aspersão dos dejetos bovinos em pastagens ou qualquer cultura, sem a adoção de práticas de manejo que possibilitem reduzir a transferência de contaminantes, pode aumentar o potencial de contaminação e colocar em risco a saúde dos animais e seres humanos.

Um sistema de tratamento do tipo aberto são as lagoas anaeróbias, que apresentam um custo de implementação baixo, no entanto, apresentam as desvantagens de emissão de odores fétidos e GEE. Essas lagoas podem ser transformadas em biodigestores por meio da cobertura com geomembranas, dessa forma diminuindo a emissão de gases e permitindo a coleta e utilização do biogás (GEBLER; PALHARES, 2007).

As emissões e GEE (principalmente CH₄ e N₂O) provenientes dos dejetos diferem amplamente dependendo do sistema de gestão utilizado para processá-lo. As

estratégias de mitigação de GEE devem objetivar manipular as propriedades desses dejetos ou as condições nas quais o CH₄ e o N₂O são produzidos e utilizados durante o seu armazenamento e tratamento (BORHAN et al., 2012).

A digestão anaeróbia converte a matéria orgânica em um biogás (BERNET; BÉLINE, 2009). Quando operada em sistema fechado, esse produto pode ser utilizado como fonte de minimização dos custos de produção dentro da propriedade, pois pode ser utilizado na produção de energia, geralmente como calor e/ou conversão em energia elétrica. Além de evitar as emissões incontroladas de GEE na atmosfera, esse tipo de manejo permite que os nutrientes dos dejetos sejam conservados na fração líquida resultante do processo (possível recuperação para utilização como biofertilizantes) e reduz os odores e microrganismos patógenos (CHYNOWETH; WILKIE; OWENS, 1999; HANSEN; KAI; MOLLER, 2006).

Todos os sistemas de tratamento apresentam vantagens e desvantagens e a escolha do sistema mais adequado vai depender do objetivo do produtor (diminuição da carga orgânica, reuso da água, inativação de microrganismos patogênicos) e das possibilidades financeiras de cada produtor. Como o objetivo do presente material é abordar tecnologias disponíveis para o aproveitamento econômico dos resíduos bem como diminuição da emissão de GEE, serão abordados apenas os sistemas que permitam atingir esses objetivos.

4.1 Separação de Dejetos

Existem biomassas difíceis de serem degradadas pelos microrganismos, sendo de degradação lenta e, nesses casos, além do processo de diluição se faz necessários outros tratamentos como a inoculação e separação de sólidos.

Os sistemas físicos permitem a separação das frações sólida e líquida dos dejetos, o que evita a sobrecarga do sistema de tratamento e aumenta sua vida útil (GEBLER; PALHARES, 2007). Além disso, a separação de fases permite que o processo de degradação dos efluentes se torne mais eficiente (maior produção de biogás por quilograma de sólido), mais rápido (menor tempo de retenção hidráulica) e mais econômico, já que necessita de biodigestores com menor tamanho para um mesmo número de animais (FERREIRA, 2013). Para a posterior utilização da fração sólida, detentora de menor potencial de produção de biogás e com elevado poder poluente, é necessário tratamento adequado antes de aplicá-la no ambiente (FERREIRA, 2013).

Geralmente os sistemas físicos de separação contemplam os seguintes processos: peneiramento; decantação ou flotação; e centrifugação (GEBLER; PALHARES, 2007).

No tratamento de dejetos de bovinos por meio de digestão anaeróbia, a etapa de separação da fase sólida da líquida é fundamental para o bom funcionamento do sistema. Consequentemente, se recomenda que esse processo seja incluído antes da entrada dos efluentes no biodigestor.

FIGURA 17 | Separador de dejetos.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Fazenda Frank/Anna/PR.

FIGURA 18 | Tanque de homogeneização e separador de dejetos.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Sekita Agropecuária/MG

FIGURA 19 | Sistema de separação de dejetos (à esquerda), biodigestor (ao fundo) e lagoa de estabilização (canto direito).



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Fazenda Santa Alice/PR.

4.2 Biodigestores e Produção de Biogás

Idealmente após a separação da fase líquida da sólida por meio de equipamentos com esta finalidade, os efluentes líquidos são transferidos para os biodigestores que, além de reduzirem o potencial poluente, produzem o biogás que é rico em metano (CH_4), um elemento com poder combustível.

A utilização da biodigestão anaeróbia representa uma forma eficaz de tratamento dos efluentes da produção bovina confinada, reduzindo a emissão dos gases de efeito estufa. Esse tipo de processo tem mostrado ser efetivo na conversão de resíduos orgânicos úmidos em biogás (POWERS et al, 2014). Além da diminuição das emissões de GEE, outras vantagens do processo de digestão anaeróbia dos dejetos são a redução do odor; geração de eletricidade e redução de agentes patogênicos que poderiam ser transmitidos pelo dejetos (POWERS et al, 2014).

Biodigestores são equipamentos que permitem a degradação da biomassa residual sem que ocorra qualquer tipo de contato com o ar (OTENIO, 2015). Isso proporciona condições para multiplicação alguns tipos de bactérias altamente consumidoras que aceleram o processo de degradação da matéria orgânica (OTENIO, 2015).

O crescimento das populações bacterianas responsáveis pelo processo de biodigestão anaeróbia é influenciada por uma série de fatores dentre os quais a composição do substrato e concentração de nutrien-

tes no mesmo, pH, temperatura e tempo de retenção hidráulica. Existem diferentes intervalos de temperatura durante os quais a fermentação anaeróbica ocorre: psicrófilo ($<30\text{ }^{\circ}\text{C}$), mesófilico ($30\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$) e termófilo ($50\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$); porém, anaeróbios são mais ativos na faixa de temperatura mesofílica e termofílica (YADVIKA et al., 2004). A decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos da origem ao biogás.

De forma geral, a produção de biogás varia entre $0,5\text{--}0,7\text{ m}^3$ biogás/dia por m^3 de biomassa (volume do biodigestor) ou seja, um biodigestor com 100 m^3 de volume teria potencial para gerar entre $50\text{--}70\text{ m}^3$ biogás/dia (OTENIO, 2015). No entanto, a matéria-prima é um fator determinante na produção do biogás. Alimentos de maior qualidade (em energia, nutrientes e degradabilidade) dão origem a dejetos mais ricos que, por conseguinte, podem reagir diferentemente de dejetos mais pobres quando submetidos à biodigestão anaeróbia (FERREIRA, 2013). Os efeitos poderiam ser de ordem quantitativa (volume) e qualitativa (percentual de CH_4) (FERREIRA, 2013).

O biogás, quando coletado por sistemas fechados como biodigestores, é um produto que pode ser utilizado como combustível para motores-geradores dentro da propriedade, produzindo calor ou energia elétrica relativamente limpa.

Os biodigestores têm sido as tecnologias de manejo de resíduos sob condições anaeróbias mais utilizadas devido aos baixos custos e facilidade de construção e

operação. São sistemas fechados onde os gases produzidos são coletados e armazenados em compartimentos denominados gasômetros para posteriormente serem aproveitados ou simplesmente queimados. Os principais modelos de biodigestor são o indiano, o chinês e o canadense (GEBLER; PALHARES, 2007).

FIGURA 20 | Conjunto de biodigestores.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Sekita Agropecuária/MG.

FIGURA 21 | *Flaire* (queimador). Utilizado na queima do biogás oriundo do biodigestor.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Fazenda Santa Alice/PR.

4.2.1 Usos do biogás

O biogás produzido nos biodigestores pode seguir diferentes rotas de aproveitamento. No entanto, a rota menos “nobre” é a queima via *flaire* (queimador) que contribui para a mitigação do aquecimento global, mas não gera valor econômico direto.

O uso direto do biogás na geração de energia térmica pode representar uma alternativa econômica em determinadas condições, tais como: na secagem de grãos, no aquecimento de ambientes (principalmente na avicultura e suinocultura), no aquecimento da água para o banho ou para lavagem das instalações, e também no fogão doméstico ou industrial.

O uso do biogás na geração de energia elétrica é uma realidade cada vez mais presente nos sistemas agropecuários. As bovinoculturas de corte e de leite confinadas possuem grande potencial de aproveitar este recurso gerado a partir da fermentação dos efluentes. A energia produzida em geradores pode ser utilizada diretamente na propriedade ou o excedente pode ser fornecido para a rede elétrica da concessionária.

O uso do biogás na geração de energia automotiva ou veicular vem ganhando destaque, pois pode substituir o uso de outros combustíveis (óleo diesel, gasolina e álcool). A utilização do biogás seja qual for sua aplicação estará contribuindo para a

redução da utilização de combustíveis fósseis e consequentemente os impactos ambientais que seriam ocasionados por eles.

FIGURA 22 | Grupo gerador de energia elétrica através do biogás.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Sekita Agropecuária/MG.

FIGURA 23 | Grupo gerador de energia elétrica através do biogás.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Fazenda Santa Alice/PR.

4.2.2 Propriedades e qualidade do biogás

A matéria-prima e o processo de produção do biogás podem influenciar sua composição e conteúdo energético. De forma geral, o biogás contém entre 55-80% de metano (CH_4) e 20-45% de dióxido de carbono (CO_2) (BERNET; BÉLINE, 2009), além de traços de outros gases como amônia, gás sulfídrico e hidrogênio. O biogás é um gás agressivo em termos de corrosão devido a presença do gás sulfídrico (H_2S) e requer cuidados especiais nos equipamentos utilizados (SALOMON; LORA, 2005). Idealmente se recomenda a filtragem do biogás para redução do teor de gás sulfídrico aumentando assim a vida útil dos equipamentos utilizados no processo.

Ao contrário do gás butano, o biogás é leve e de menor densidade, fazendo com que ocupe um volume significativo e dificulte sua liquefação, tornando trabalhoso seu transporte e armazenamento (SALOMON; LORA, 2005).

A determinação da equivalência energética do biogás em relação a outras fontes energéticas (Tabela 6) leva em conta o poder calorífico e a eficiência média de combustão (POMPERMAYER; PAULA JÚNIOR, 2000). Além do poder calorífico (Tabela 7), é necessário que se observem outras propriedades como a presença de contaminantes, pressão e acidez (ALVES, 2000). A observação dessas características contribui para uma previsão adequada das adapta-

ções necessárias ao emprego do biogás, seja como único recurso energético ou como combustível complementar (ALVES, 2000).

TABELA 6 | Equivalência energética entre 1 m³ de biogás e outras fontes energéticas.

Fonte	Equivalência energética
Gasolina (L)	0,61-0,70
Querosene (L)	0,58-0,62
Óleo diesel (L)	0,55
Gás de cozinha (kg)	0,40- 1,43
Álcool (L)	0,80
Carvão mineral (kg)	0,74
Lenha (kg)	3,50
Elettricidade (kWh)	1,25- 1,43

Fonte: Adaptado de Pompermayer e Paula Júnior (2000).

TABELA 7 | Variação do poder calorífico do biogás em relação à sua composição.

Composição química do biogás	Peso específico (kg/Nm³)	Poder calorífico inferior (kcal/kg)
10% CH ₄ ; 90% CO ₂	1,8393	465,43
40% CH ₄ ; 60% CO ₂	1,4643	2.338,52
60% CH ₄ ; 40% CO ₂	1,2143	4.229,98
65% CH ₄ ; 35% CO ₂	1,1518	4.831,14
75% CH ₄ ; 25% CO ₂	1,0268	6.253,01
95% CH ₄ ; 05% CO ₂	0,7768	10.469,60
99% CH ₄ ; 01% CO ₂	0,7268	11.661,02

Fonte: Adaptado de Avellar (2001 apud COSTA, 2006).

Sendo um gás, as características do biogás dependem da pressão, temperatura, umidade, concentração de gases inertes e/ou ácidos (ALVES, 2000). Ele possui composição semelhante à do gás natural combustível (GNC) podendo ser utilizado nas condições em que é gerado ou, dependendo da aplicação, se faz necessária a redução da concentração de H₂S, CO₂ umidade ou mesmo a elevação da pressão (ALVES, 2000). Essas substâncias não combustíveis prejudicam o processo de queima diminuindo o poder calorífico e tornando menos eficiente o biogás.

4.2.3 Resolução normativa da Aneel sobre geração distribuída de energia elétrica

Desde 17 de abril de 2012, quando passou a vigorar a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 (ANEEL, 2012), o consumidor brasileiro tem a possibilidade de gerar sua própria energia elétrica e fornecer o excedente para a rede de sua localidade. Isso é possível por meio da micro e minigeração distribuídas de energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, inovações que permitem aliar economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade (ANEEL, 2016a). Em 24 de novembro de 2015 a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687/2015 (ANEEL, 2015), revisando a anterior Normativa nº 482/2012.

A geração distribuída consiste na produção de energia elétrica por pequenas centrais geradoras conectadas

à rede de distribuição sendo divididas em micro e minigeração (ANEEL, 2016b):

1. **Microgeração distribuída:** central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW).
2. **Minigeração distribuída:** central geradora com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 megawatt (MW), para fonte hídrica, ou 5 MW para as demais fontes.

Se a quantidade de energia gerada em um determinado mês superar a energia consumida no mesmo período, o consumidor acumula créditos que poderão ser utilizados para diminuir a fatura nos meses subsequentes (ANEEL, 2016a). O prazo de validade dos créditos é de 60 meses.

Existem três modalidades para a utilização desses créditos (ANEEL, 2016a): a) “**autoconsumo remoto**”, ou seja, abatimento no consumo de unidades consumidoras do mesmo titular localizadas em outro local atendido pela mesma distribuidora; b) “**empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (condomínios)**”, onde a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos; c) “**geração compartilhada**”, em que diversos interessados podem se unir em um consórcio ou em uma cooperativa e utilizar a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados.

FIGURA 24 | Sistema de conexão entre microcentral geradora e concessionária de energia elétrica (geração distribuída/GD).



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Fazenda Seis Amigos/MT

4.2.4 Purificação do biogás e produção do biometano

O biometano é um biocombustível gasoso resultante da purificação do biogás. Por ser concentrado possui elevado teor de metano e alto poder combustível.

Existem diferentes alternativas de purificação aplicáveis ao biogás, devendo ser empregada a que melhor se adeque a aplicação energética pretendida (ALVES, 2000). Para remoção do gás sulfídrico (H_2S), diferentes procedimentos físicos, químicos e biológicos são possíveis.

O biometano reúne características que permitem que seja intercambiável com o gás natural em qualquer aplicação. Ele pode ser comercializado por meio de conexão à rede de distribuição de gás canalizado ou na forma de gás comprimido em botijões.

A qualidade do biometano é regulamentada pela Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) por meio da Resolução ANP nº 8/2015 (ANP, 2016). De acordo com o Regulamento Técnico ANP nº 1/2015, parte integrante da Resolução ANP nº 8/2015 (ANP, 2015), o biometano deve apresentar concentrações mínima de metano (96,5%), limitadas de gás sulfídrico (H_2S), dióxido de carbono e água, componentes potencialmente corrosivos que podem afetar a integridade dos equipamentos.

FIGURA 25 | Reservatório de biometano.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – CIBiogás/PR.

4.3 Compostagem dos Dejetos (*compost barn*)

A compostagem é a decomposição biológica aeróbica controlada da matéria orgânica, formando um produto estável semelhante a húmus, um conjunto de compostos minerais que pode ser absorvido pelas plantas. O *compost barn* é uma alternativa para muitas propriedades leiteiras confinadas, esta tecnologia está em ascensão no Brasil.

A compostagem aeróbica dos dejetos simultaneamente a sua produção utiliza uma fonte de resíduos vegetais rica em carbono (maravalha, serragem, casca de arroz, casca de café, cepilho, palha) tendo como produto final um composto orgânico comercializável de alto valor agrônômico.

Um ponto importante desse processo diz respeito ao óxido nitroso, um produto dos processos de desnitrificação e nitrificação. A nitrificação é desejável na compostagem, ao contrário da desnitrificação, pois quando esta ocorre, o nitrogênio deixará a cama na forma de gás nitrogênio ou óxido nitroso. O óxido nitroso é um composto que propaga odor e é um GEE. A nitrificação pode ser minimizada mantendo as condições aeróbicas no processo, ou seja, aerando a cama por meio do revolvimento diário.

O oxigênio é fundamental no processo de compostagem. A cama deve ser aerada (permitida a entrada de ar) diariamente, revolvendo-a duas vezes ao dia, no mínimo. Um bom indicador de um processo adequado de compostagem é a mensuração da temperatura interna da cama, a aproximadamente 30 cm de profundidade. A temperatura nessa profundidade deve estar entre 40-65 °C. A temperatura da superfície da cama será bem menor, no entanto, a utilização de ventiladores dentro do galpão de *compost barn* é indispensável para redução do estresse térmico e da umidade do ambiente.

A reposição do material é recomendada quando a umidade do material da cama estiver elevada, assim evitando a redução da temperatura de compostagem. Em climas frios, os ventiladores não serão suficientes como método de diminuição da umidade da cama, sendo que o calor gerado pelo processo de compostagem se tornará crucial para um bom funcionamento desse sistema neste tipo de ambiente.

A lotação recomendada é de 10 m²/animal, para vacas da raça Holandesa e 8,5 m²/animal para vacas da raça Jersey. No entanto, em rebanhos de alto desempenho pode ser necessário mais espaço por animal, pois a produção de dejetos tende a aumentar. Os benefícios e vantagens da compostagem dos dejetos incluem (NRCS, 2007):

- Redução da matéria seca, geralmente entre 50-75%;
- Reduções do volume, geralmente entre 50-60% mas podendo chegar a 85%;
- Transporte mais fácil e barato do composto gerado em comparação aos dejetos brutos;
- Formação de um produto estável que pode ser utilizado como adubo;
- Diminuição de odores, moscas e patógenos;
- Processo simples que não necessita de alta tecnologia.

Caso a temperatura interna da cama caia abaixo de 40 °C, o composto não vai aquecer novamente a menos que oxigênio, água ou outros fatores limitantes sejam providos. Após o período de compostagem ativa, ocorre diminuição da atividade microbiana na cama.

Não existe um ponto certo de quando o processo de compostagem terminou. Ele pode ser considerado estável quando: a decomposição do material não mais ocorre; a temperatura da cama fica próxima à temperatura ambiente (mesmo depois do material ser revolvido ou umidificado); quando a cor é marrom escura ou preta; o odor é similar a terra, não desagradável, sem odor de amônia; o composto formado é uniforme e o material original não é mais reconhecido.

FIGURA 26 | Galpão *compost barn* para vacas de leite.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Chácara Dirk/PR

FIGURA 27 | Vacas em lactação em galpão compost barn.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono - Fazenda Vale do Jotuva/PR.

4.4 Compostagem dos Dejetos Mecanizada

Outra forma de compostagem dos dejetos provenientes da bovinocultura é a compostagem mecanizada, um processo que pode ser automatizado. Esse sistema consiste na montagem de leiras de resíduos vegetais ricos em carbono sobre um piso de alvenaria, utilizando-se matérias semelhantes aos empregados no sistema *compost barn*.

Uma máquina realiza a aplicação dos dejetos líquidos sobre as leiras de resíduos vegetais. Essa mesma máquina revolve mecanicamente o material, tornando-o homogêneo e renovando o ar na sua parte interna. A aplicação dos efluentes líquidos é

feito de forma gradual por meio de tubulação que acompanha a barra suspensa da máquina por todo o comprimento do galpão destinado à compostagem.

A automação do processo de compostagem dos efluentes da bovinocultura acelera o processo, diminuindo consideravelmente o tempo de estabilização do material, ou seja, o composto fica pronto mais rapidamente. O controle da temperatura e do teor de oxigênio do material, com revolvimento diário do composto, garante adequada oxigenação no interior das leiras.

De forma semelhante ao que ocorre no sistema *compost barn*, os dejetos são aplicados diretamente

sobre os resíduos vegetais, permitindo eliminar as lagoas anaeróbicas e esterqueiras existentes ou evitar que sejam construídas, diminuindo assim a poluição ambiental e os riscos com acidentes.

A compostagem mecanizada detém vantagens muito similares as do sistema *compost barn*. Além disso, permite a automatização do revolvimento do material e melhor controle sobre o processo.

FIGURA 28 | Sistema de compostagem mecanizada.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Itapejara D'Oeste/PR.

4.5 Uso dos Biofertilizantes

A diminuição do uso de fertilizantes nitrogenados (precursores do óxido nitroso, potente GEE, além de outros compostos danosos ao ambiente) com o objetivo de reduzir o impacto ambiental causado pela sua aplicação, sem que aja uma estratégia para suprimento das demandas das plantas, resultaria em uma queda marcante de produtividade e consequentemente seria necessária a expansão

horizontal no uso da terra (SOUZA; SCHMIDT, 2015). Esse cenário é indesejado, pois poderia aumentar o impacto ambiental da atividade (SOUZA; SCHMIDT, 2015). Dessa forma, fontes alternativas de nitrogênio para as plantas, como os biofertilizantes, se apresentam como uma solução.

Os compostos produzidos pelo sistema de *compost barn* ou pela compostagem mecanizada possuem alto valor agronômico. Quando finalizado o processo

de compostagem estarão prontos para serem utilizados na propriedade como fertilizante orgânico para lavouras ou pastagens reduzindo custos com adubos comprados. Além disso, podem ser vendidos com o mesmo propósito, tornando-se outra fonte de renda para o produtor.

No caso da biodigestão anaeróbia (biodigestores), além de promover a geração do biogás, utilizado como fonte de energia, permite a reciclagem do efluente o qual pode vir a ser utilizado como biofertilizante (AMARAL et al., 2004). O biofertilizante apresenta alta qualidade para uso agrícola, pois sua matéria orgânica contém teor reduzido de carbono (em decorrência de sua perda na forma de CH_4 e CO_2) e alto teor de fósforo (FERREIRA, 2013). Outra vantagem é que apresenta maior grau de absorção de nutrientes pelo solo devido ao seu avançado grau de decomposição (FERREIRA, 2013).

Para a utilização de biofertilizantes de biodigestores em sistemas de produção agrícola deve ser observada sua segurança microbiológica, uma vez que os efluentes podem conter microrganismos potencialmente patogênicos, (RESENDE et al., 2015). Antes de ser destinada à fertirrigação é necessária uma avaliação das características microbiológicas e bioquímicas das águas residuárias considerando a qual cultura será destinada, o solo, o sistema de irrigação e a forma que o produto será consumido (OTENIO, 2015).

A aplicação de dejetos na produção de culturas e forragens promove efeitos direto e indireto. O efeito direto depende da quantidade de nutrientes contidos no dejetos e da quantidade de fertilizantes minerais que podem ser substituídos com seu uso. O efeito indireto é a ação benéfica sobre as propriedades físicas e químicas do solo e intensificação das atividades microbiana e enzimática (SIGNORETTI, 2008). Nutrientes como o nitrogênio, potássio e, sobretudo, fósforo são fundamentais no cultivo de solos pobres (OTENIO, 2015).

A fertirrigação é uma técnica de distribuição da água residuária tratada sobre o solo com o objetivo de aproveitar os nutrientes que ali estão presentes (OTENIO, 2015). Pode ser feita por sulco, aspersão, gotejamento ou com chorumeiras, sendo que a escolha do método irá depender da cultura, susceptibilidade a doenças e capacidade de infiltração de água no solo (OTENIO, 2015).

Os biofertilizantes gerados pela bovinocultura confinada podem representar outra fonte de renda. Sejam estes biofertilizantes líquidos ou sólidos, seus usos agrícolas reduzem o uso de fertilizantes nitrogenados e geram recursos através da agricultura (por exemplo, para produção de grãos, pastagens ou feno).

FIGURA 29 | Equipamento de distribuição de biofertilizante.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Chácara Marujo /PR

FIGURA 30 | Tifton produzido com biofertilizante proveniente da bovinocultura de leite.



Fonte: Projeto Pecuária de Baixa Emissão de Carbono – Sekita Agropecuária/MG

4.6 Outras Tecnologias com Potencial Mitigador de GEE

Existem muitas estratégias para mitigação de metano entérico, algumas ainda sob amplo processo de estudo. Cada uma apresenta suas vantagens e desvantagens, custos de implantação e aceitação pelos produtores. Para uma escolha adequada de qual estratégia adotar, se faz necessário ponderar a capacidade dela de reduzir as emissões juntamente com sua viabilidade econômica e influências sobre o desempenho animal.

4.6.1 Ácidos orgânicos

Ácidos orgânicos como fumarato e malato agem como receptores alternativos de hidrogênio, porém, os resultados quanto aos efeitos sobre a produção de metano e desempenho animal são variáveis. Seu custo é elevado o que pode torna-los economicamente inviáveis.

4.6.2 Probióticos

A utilização de probióticos na estimulação da microbiota ruminal capaz de diminuir a emissão de CH_4 permanece potencialmente interessante (MARTIN; MORGAVI; DOREAU, 2010). Os aditivos alimentares microbianos mais utilizados são provenientes de *Saccharomyces cerevisiae* e *Aspergillus oryzae*. Seu efeito sobre a fermentação ruminal e produtividade animal são variados e há pouca informação no que diz respeito ao efeito sobre a produção de metano (PEREIRA, 2013).

4.6.3 Nitratos

O uso de nitrato tem sido mal visto devido aos possíveis efeitos tóxicos do nitrito, um composto intermediário formado na redução do nitrato a amônia. Para animais não adaptados ao uso de nitrato na dieta, a capacidade dos microrganismos ruminais reduzirem nitrato a nitrito é maior que a capacidade de redução do nitrito, o que gera absorção desse composto pelo epitélio ruminal ocasionando possíveis efeitos tóxicos (PEREIRA, 2013). Dessa forma, a utilização de nitrato como agente mitigador de metano tem sido condenada.

No entanto, Natel (2016) concluiu que o nitrato, se fornecido de forma segura, representa uma estratégia útil na diminuição da produção de metano entérico em ruminantes alimentados com dietas com 80% de grão ou 80% de volumoso, ao mesmo tempo em que representa uma fonte de N degradável no rúmen sem ser tóxico a sua microbiota.

4.6.4 Imunização ativa

Existe a possibilidade de utilização de vacinas que estimulariam o sistema imunológico do animal a produzir anticorpos contra bactérias metanogênicas (WRIGHT et al., 2004), no entanto, o desenvolvimento dessas vacinas talvez seja específica para cada situação, pois a população de bactérias metanogênicas pode variar de acordo com a dieta ou mesmo a localização geográfica do hospedeiro.



5

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE TECNOLOGIAS DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO E APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS



PECUÁRIA
DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO

Neste capítulo apresentamos uma análise de viabilidade econômica das tecnologias de tratamento de dejetos de bovinos que são mitigadoras de emissões de gases de efeito estufa. Os processos tecnológicos objetos deste estudo consistem na geração de energia elétrica a partir do biogás produzido dos dejetos de bovinos tratados em biodigestores e na compostagem dos dejetos e produção de biofertilizantes.

Os sistemas de produção de bovinos foram divididos em pecuária leiteira utilizando o sistema *free stall* com vacas estabuladas e de alta produção, e pecuária de corte utilizando o sistema de confinamento com os animais totalmente estabulados. No estudo, estimou-se que a totalidade dos dejetos (fezes, urina e água residuária) foi coletada e tratada através da biodigestão, com o biogás utilizado (queimado) em moto-geradores para produção de energia elétrica no conceito de geração distribuída e utilização própria para os projetos tanto de leite como de corte. Adicionalmente foram feitas projeções na bovinocultura de leite considerando a utilização dos dejetos para compostagem.

As unidades produtivas de bovinos de leite e corte foram divididas em pequena, pequena média, média,

média grande e grande, desta forma as simulações são capazes de atender o maior número de propriedades brasileiras. O modelo de negócios foi concebido sob a ótica do aproveitamento sustentável dos dejetos. Para o estudo de viabilidade econômica foram definidos 25 projetos conforme detalhado na metodologia.

5.1 Metodologia

As tecnologias que foram selecionadas para o estudo de viabilidade econômica foram a biodigestão e a compostagem. A biodigestão e geração de energia pode teoricamente ser implantada em qualquer região produtora de bovinos do Brasil. Para as projeções da biodigestão foram considerados dois tipos de simulações, uma com a utilização de geração distribuída e outra sem geração distribuída considerando a utilização do biodigestor e grupo gerador para uso próprio das propriedades sem investimento na distribuição.

Para que o estudo de viabilidade pudesse contemplar o maior número de propriedades, o mesmo foi elaborado para cinco escalas de produção: Pequeno, Pequeno Médio, Médio, Médio Grande e Grande (Tabela 1).

TABELA 1 | Escalas produtivas do estudo de viabilidade econômica para implantação da geração de energia elétrica associada ao tratamento de dejetos bovinos de leite (*free-stall*) e corte (confinamento) e compostagem nos bovinos de leite.

Escalas produtivas	Bovino de leite free-stall – Geração Distribuída ou Uso Próprio				
	Pequeno	Pequeno Médio	Médio	Médio Grande	Grande
Nº Vacas em produção	50	100	200	400	800
Escalas produtivas	Bovino de leite free-stall - Compostagem				
	Pequeno	Pequeno Médio	Médio	Médio Grande	Grande
Nº Vacas em produção	50	100	200	400	800
Escalas produtivas	Bovino de corte confinamento – Geração Distribuída ou Uso Próprio				
	Pequeno	Pequeno Médio	Médio	Médio Grande	Grande
Nº Animais na engorda	400	800	1600	3200	6400

A combinação das cinco escalas produtivas, com os dois sistemas de produção e os dois tipos de simulação da biodigestão (geração distribuída e uso próprio) permitiu elaborar 20 projetos para o estudo de viabilidade que em conjunto aos 5 projetos de compostagem totalizam 25 projetos (Tabela 2). Todas as projeções partiram do pressuposto que as propriedades já estavam em

operação, ou seja, as etapas anteriores as produções dos dejetos não foram consideradas nos cálculos.

As tecnologias, sistemas de produção e escalas utilizadas no estudo foram definidas de forma a atenderem o maior número de possibilidades de comparação com as propriedades brasileiras.

TABELA 2 | Lista dos 25 projetos elaborados.

Número	Projeto	Escala	Produto Base
1	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 50 vacas em lactação	50	Energia Elétrica - Geração Distribuída
2	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 100 vacas em lactação	100	Energia Elétrica - Geração Distribuída
3	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 200 vacas em lactação	200	Energia Elétrica - Geração Distribuída
4	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 400 vacas em lactação	400	Energia Elétrica - Geração Distribuída
5	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 800 vacas em lactação	800	Energia Elétrica - Geração Distribuída
6	Uso Próprio de Energia - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 50 vacas em lactação	50	Energia Elétrica - Uso Próprio
7	Uso Próprio de Energia - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 100 vacas em lactação	100	Energia Elétrica - Uso Próprio
8	Uso Próprio de Energia - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 200 vacas em lactação	200	Energia Elétrica - Uso Próprio
9	Uso Próprio de Energia - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 400 vacas em lactação	400	Energia Elétrica - Uso Próprio
10	Uso Próprio de Energia - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 800 vacas em lactação	800	Energia Elétrica - Uso Próprio
11	Compostagem - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 50 vacas em lactação	50	Compostagem
12	Compostagem - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 100 vacas em lactação	100	Compostagem
13	Compostagem - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 200 vacas em lactação	200	Compostagem
14	Compostagem - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 400 vacas em lactação	400	Compostagem
15	Compostagem - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 800 vacas em lactação	800	Compostagem
16	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Corte 400 animais confinados	400	Energia Elétrica - Geração Distribuída

AVALIAÇÃO ECONÔMICA
DE TECNOLOGIAS DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO
E APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS

Número	Projeto	Escala	Produto Base
17	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Corte 800 animais confinados	800	Energia Elétrica - Geração Distribuída
18	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Corte 1600 animais confinados	1600	Energia Elétrica - Geração Distribuída
19	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Corte 3200 animais confinados	3200	Energia Elétrica - Geração Distribuída
20	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Corte 6400 animais confinados	6400	Energia Elétrica - Geração Distribuída
21	Uso Próprio de Energia - Bovino de Corte 400 animais confinados	400	Energia Elétrica - Uso Próprio
22	Uso Próprio de Energia - Bovino de Corte 800 animais confinados	800	Energia Elétrica - Uso Próprio
23	Uso Próprio de Energia - Bovino de Corte 1600 animais confinados	1600	Energia Elétrica - Uso Próprio
24	Uso Próprio de Energia - Bovino de Corte 3200 animais confinados	3200	Energia Elétrica - Uso Próprio
25	Uso Próprio de Energia - Bovino de Corte 6400 animais confinados	6400	Energia Elétrica - Uso Próprio

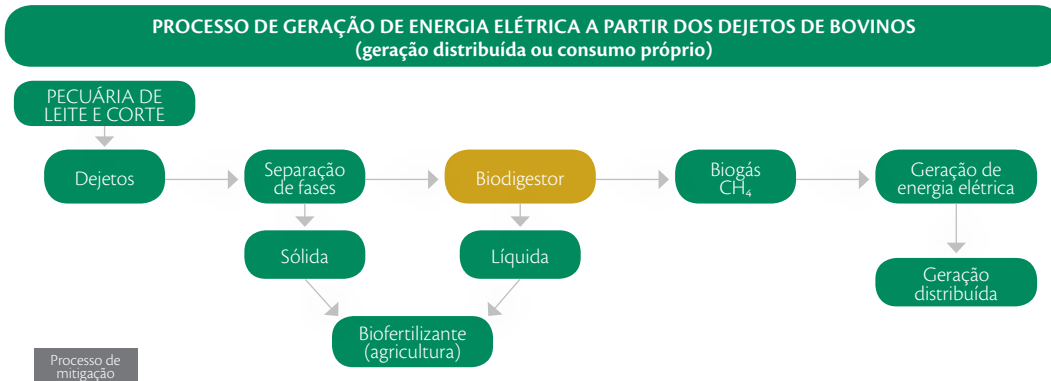
5.2 Descrição das Tecnologias

As soluções tecnológicas para o tratamento dos dejetos bovinos avaliadas no estudo de viabilidade econômica são as mais pertinentes e adequadas para a substituição dos sistemas tradicionais que em muitas situações nem sequer tratam os dejetos, o que permite a emissão de gases atmosféricos aceleradores do efeito estufa.

5.2.1 Biodigestão

A biodigestão é um processo de fermentação anaeróbia (sem a presença de oxigênio) da matéria orgânica realizado dentro de um reator (biodigestor) e os produtos finais são o biogás e o biofertilizante. O biogás rico em metano (CH₄) é queimado em motores estacionários geradores de energia elétrica que é utilizada no sistema de geração distribuída, na qual a energia é “injetada” na rede da concessionária gerando créditos ao produtor que pode ser deduzido de outras contas de energia elétrica segundo Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL.

FIGURA 31 | Processo de geração de energia elétrica a partir dos dejetos de bovinos.

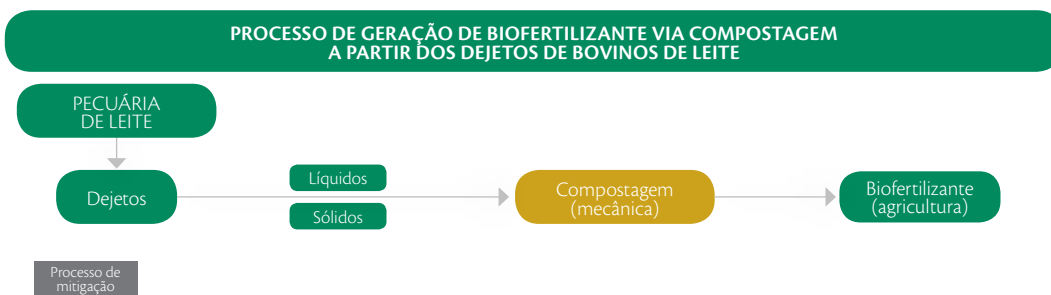


5.2.2 Compostagem

A biodigestão é um processo de fermentação anaeróbia (sem a presença de oxigênio) da matéria orgânica realizado dentro de um reator (biodigestor) e os produtos finais são o biogás e o biofertilizante. O Biogás

rico em metano (CH_4) é queimado em motores estacionários geradores de energia elétrica que é utilizada no sistema de geração distribuída, na qual a energia é “injetada” na rede da concessionária gerando créditos ao produtor que pode ser deduzido de outras contas de energia elétrica segundo Normativa 587 da ANEEL.

FIGURA 32 | Processo de geração de composto orgânico.



5.3 Indicadores de Análise

As análises econômicas foram realizadas com base nos indicadores econômicos, a saber:

- TIR;
- VPL; e
- *Payback*.

O estudo utilizou as condições do Programa ABC como premissas para viabilizar a implantação das tecnologias de Tratamento de Dejetos Bovinos:

- Taxa de juros de 8,5% ao ano. Optou-se por não utilizar 8,0%, pois tal taxa está atrelada ao produtor se enquadrar como beneficiário do Pronamp¹. Tendo em vista que os projetos não consideram a renda das atividades animais, e analisam apenas a economia de energia, não é possível determinar quais projetos se enquadrariam;
- Prazo de até 10 anos, incluindo carência de até 5 anos; e
- Financiamento de 100% do valor dos investimentos, observando o limite de até R\$ 2,2 milhões por cliente, por ano safra. Para os projetos de corte nas escalas de 3.200 e 6.400 animais confinados, por ultrapassarem esse limite, os investimentos foram plurianuais. Nesse caso para a escala de 3.200 foi

adotado o prazo de 9 anos, enquanto que para os de escala de 6.400 foi adotado o prazo de 8 anos.

As projeções contemplaram um fluxo de caixa (prazo) para a análise de 10 anos.

A taxa mínima de atratividade utilizada para cálculo do VPL foi a mesma dos juros praticados pela linha BNDES ABC, ou seja, 7,5% ao ano.

5.4 Premissas Gerais Adotadas para as Projeções

As premissas gerais adotadas visando permitir as análises foram:

- Os valores dos materiais e equipamentos utilizados no estudo são uma média nacional de preços praticados por empresas de referência, sendo o frete por conta do comprador (frete FOB);
- O custo por kWh da energia elétrica utilizado nos estudos foi padronizado. Considerando que o estudo tem abrangência nacional adotou-se o valor do kWh em R\$ 0,51;
- Os valores de mão de obra utilizados tomam como referência o salário mínimo nacional.
- A estimativa de produção de biogás (m³/animal) utilizada no estudo é a praticada pe-

¹ Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural.

las empresas que fornecem tecnologia para este segmento, e presume que o biodigestor esteja em boas condições e com um adequado manejo dos dejetos. Para as projeções de bovinocultura de leite adotou-se que cada animal gera 1,5 m³ de biogás por dia, enquanto que nas projeções de bovinocultura de corte adotou-se 1 m³;

- Para o estudo foi utilizado a concentração de 65% de metano (CH₄) no biogás;
- No estudo da viabilidade optou-se por trabalhar com dois tipos de simulação:
 1. Geração Distribuída, o que permite que o crédito do excedente de energia elétrica produzido na unidade de produção seja jogado na rede;
 2. Consumo Próprio, no qual com base na demanda energética mensal das granjas, utilizam-se grupos geradores e biodigestores sem a parte de geração distribuída.
- A produção de energia elétrica foi calculada com base na capacidade máxima de produção de biogás das propriedades;
- Para as projeções de consumo próprio adotou-se uma demanda energética média (para dimensionamentos), não considerando que ocorre uma demanda oscilante em granjas.
- No custo de manutenção de biodigestores e grupos geradores é considerado a mão de obra para operar o sistema, incluindo o treinamento de pessoal para operar o sistema, os EPIs utilizados por este operador, os gastos com óleos lubrificantes para motor e todas as peças de reposição que na medida se desgastam devem ser substituídas.
- Para os projetos de compostagem adotou-se:
 1. Relação de 12 litros de efluente bruto para cada 1 kg de substrato.
 2. Definiu-se que o valor de mercado por tonelada de composto é de R\$ 220,00, tomando-se como base o seu potencial agrônomo.
- Foi considerado em todas as projeções o investimento com custeio para o 1º ano;

5.4.1 Tributações

Os impostos considerados nas projeções foram:

- IRPF (Imposto de Renda Pessoa Física) – conforme Tabela 4, utilizando-se a opção de taxar 20% sobre a receita bruta, quando for a opção de menor tributação:

TABELA 3 | Bases de cálculos e alíquotas adotadas para o cálculo do IRPF.

Base de cálculo anual (em R\$)	Alíquota %	Parcela a deduzir do imposto (em R\$)
Até 22.847,76	-	R\$ 368.344,03
De 22.847,77 até 33.919,80	7,5	R\$ 319.384,03
De 33.919,81 até 45.012,60	15	R\$ 262.097,60
De 45.012,61 até 55.976,16	22,5	R\$ 462.047,76
Acima de 55.976,16	27,5	R\$ 410.027,76

Fonte: <http://idg.receita.fazenda.gov.br/acesso-rapido/tributos/irpf-imposto-de-renda-pessoa-fisica#c-lculo-anual-do-irpf>

- Funrural – 2,1 % Sobre Receita Bruta;
- Taxa SENAR – 0,2% sobre a Receita bruta;
- ICMS – Regime diferido (indústria arca com o pagamento).

5.5 Análise Econômica

5.5.1 Análise dos Investimentos Necessários

Conforme o apresentado na Tabela 4, os menores investimentos são observados em projetos de menor escala. Projetos de mesma escala entre os diferentes sistemas de produção demonstram a maior necessidade de investimentos em projetos que envolvem a geração distribuída, tendo em vista que essa exige investimentos com painéis automáticos específicos.

Os maiores investimentos são observados nas projeções de bovinocultura de corte, tendo em vista que além de exigirem investimento com separadores, biodigestores e grupos geradores, exigem também investimento em pavimentação (8 m² de piso por animal confinado). Os projetos de corte também apresentam as maiores escalas.

Vale destacar, porém, que os investimentos em equipamentos (separadores, biodigestores e grupos geradores) observados no leite são superiores por apresentarem maior produção de biogás que demandam máquinas de maior porte.

Os maiores investimentos observados entre os projetos se encontram nas projeções de biodigestor para a bovinocultura de corte de

6.400 animais confinados. Tal comportamento está ligado a quantidade de animais que exige equipamentos de grande porte e a área pavimentada necessária.

Entre as projeções de bovinocultura de leite, as que envolvem compostagem apresentam os menores investimentos necessários tendo em vista que não envolvem a biodigestão.

TABELA 4 | Investimentos necessários nos 25 projetos.

Número	Projeto	Investimento Total
1	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 50 vacas em lactação	R\$ 366.972,49
2	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 100 vacas em lactação	R\$ 411.606,06
3	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 200 vacas em lactação	R\$ 468.681,18
4	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 400 vacas em lactação	R\$ 573.006,27
5	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 800 vacas em lactação	R\$ 956.245,56
6	Uso Próprio de Energia - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 50 vacas em lactação	R\$ 295.697,95
7	Uso Próprio de Energia - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 100 vacas em lactação	R\$ 340.331,52
8	Uso Próprio de Energia - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 200 vacas em lactação	R\$ 397.406,64
9	Uso Próprio de Energia - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 400 vacas em lactação	R\$ 507.878,76
10	Uso Próprio de Energia - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 800 vacas em lactação	R\$ 854.764,38
11	Compostagem - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 50 vacas em lactação	R\$ 243.094,85
12	Compostagem - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 100 vacas em lactação	R\$ 275.393,90
13	Compostagem - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 200 vacas em lactação	R\$ 347.539,98

AVALIAÇÃO ECONÔMICA
DE TECNOLOGIAS DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO
E APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS

Número	Projeto	Investimento Total
14	Compostagem - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 400 vacas em lactação	R\$ 516.856,03
15	Compostagem - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 800 vacas em lactação	R\$ 369.058,80
16	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Corte 400 animais confinados	R\$ 616.800,58
17	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Corte 800 animais confinados	R\$ 867.097,67
18	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Corte 1600 animais confinados	R\$ 1.496.134,01
19	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Corte 3200 animais confinados	R\$ 2.422.689,21
20	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Corte 6400 animais confinados	R\$ 4.291.488,84
21	Uso Próprio de Energia - Bovino de Corte 400 animais confinados	R\$ 545.196,58
22	Uso Próprio de Energia - Bovino de Corte 800 animais confinados	R\$ 802.178,24
23	Uso Próprio de Energia - Bovino de Corte 1600 animais confinados	R\$ 1.394.652,82
24	Uso Próprio de Energia - Bovino de Corte 3200 animais confinados	R\$ 2.363.835,21
25	Uso Próprio de Energia - Bovino de Corte 6400 animais confinados	R\$ 4.134.408,84

5.5.2 Indicadores Econômicos

Conforme Tabela 5, dentro das premissas adotadas, os indicadores econômicos demonstraram:

- Entre as projeções de bovinocultura de leite que envolvem biodigestão, os projetos 5, 9 e 10 apresentaram viabilidade econômica. O projeto 9 apesar da viabilidade não demonstrou atratividade por apresentar TIR de 0,20%, inferior à TMA de 8,5% adotada. Os resultados demonstram atratividade para projetos que envolvam escalas superiores à 800 matrizes (5 e 10);
- Em relação aos projetos para bovinocultura de leite que envolvem compostagem os

resultados demonstram que a partir da escala com 200 matrizes a atividade mostra viabilidade e atratividade econômica, apresentando nos projetos 14 e 15 os melhores resultados entre todas as projeções;

- Entre as projeções que envolvem a bovino-cultura de corte, os melhores resultados são observados para as projeções onde é feita a produção de energia para uso próprio (sem

geração distribuída) quando analisadas as mesmas escalas. Esse resultado está relacionado à menor necessidade de investimento em projetos que não utilizam a geração distribuída.

Vale destacar, porém, que apesar da inviabilidade dos projetos de menor escala, a implantação dos sistemas poderia vir a trazer benefícios indiretos para a propriedade (sanidade animal, preservação ambiental, entre outros).

TABELA 5 | Resultado dos projetos.

Número	Projeto	VPL (R\$)	TIR (%)	Payback
1	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 50 vacas em lactação	-R\$ 638.105,38	-	-
2	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 100 vacas em lactação	-R\$ 604.744,64	-	-
3	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 200 vacas em lactação	-R\$ 525.561,24	-	-
4	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 400 vacas em lactação	-R\$ 244.754,72	-	-
5	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 800 vacas em lactação	-R\$ 661.793,21	27,04%	3 anos
6	Uso Próprio de Energia - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 50 vacas em lactação	-R\$ 501.723,74	-	-
7	Uso Próprio de Energia - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 100 vacas em lactação	-R\$ 473.363,00	-	-
8	Uso Próprio de Energia - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 200 vacas em lactação	-R\$ 394.179,60	-	-
9	Uso Próprio de Energia - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 400 vacas em lactação	-R\$ 124.704,02	0,20%	10 anos
10	Uso Próprio de Energia - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 800 vacas em lactação	R\$ 846.251,27	33,62%	3 anos

AVALIAÇÃO ECONÔMICA
DE TECNOLOGIAS DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO
E APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS

Número	Projeto	VPL (R\$)	TIR (%)	Payback
11	Compostagem - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 50 vacas em lactação	-R\$ 284.741,31	-	-
12	Compostagem - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 100 vacas em lactação	-R\$ 98.612,32	-	-
13	Compostagem - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 200 vacas em lactação	R\$ 179.738,39	26,93%	3 anos
14	Compostagem - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 400 vacas em lactação	R\$ 865.114,79	52,96%	2 anos
15	Compostagem - Bovino de Leite (<i>free stall</i>) 800 vacas em lactação	R\$ 2.237.521,40	80,18%	2 anos
16	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Corte 400 animais confinados	-R\$ 582.452,60	-	-
17	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Corte 800 animais confinados	-R\$ 381.326,03	-	-
18	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Corte 1600 animais confinados	R\$ 394.416,56	16,39%	4 anos
19	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Corte 3200 animais confinados	R\$ 1.334.175,16	24,09%	4 anos
20	Geração de Energia Distribuída - Bovino de Corte 6400 animais confinados	R\$ 4.050.854,05	33,79%	3 anos
21	Uso Próprio de Energia - Bovino de Corte 400 animais confinados	-R\$ 450.505,26	-	-
22	Uso Próprio de Energia - Bovino de Corte 800 animais confinados	-R\$ 261.658,88	-	-
23	Uso Próprio de Energia - Bovino de Corte 1600 animais confinados	R\$ 583.525,75	20,46%	4 anos
24	Uso Próprio de Energia - Bovino de Corte 3200 animais confinados	R\$ 1.430.911,46	25,49%	3 anos
25	Uso Próprio de Energia - Bovino de Corte 6400 animais confinados	R\$ 4.316.754,32	36,06%	3 anos



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



PECUÁRIA
DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO

ALVES, J. W. S. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos.** 2000. 142 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Instituto de Eletrotécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

AMARAL, C. M. C.; AMARAL, L. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, A. A.; FERREIRA, D. S.; MACHADO, M. R. F. Biodigestão anaeróbia de dejetos bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 1897-1902, 2004.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Informações técnicas:** geração distribuída. 2016a. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827?inheritRedirect=false>. Acesso em: 26 maio 2017.

_____. **Micro e minigeração distribuída:** sistema de compensação de energia elétrica. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2016b. 31p. (Cadernos Temáticos ANEEL).

_____. **Resolução Normativa nº 482**, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras

providências. 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2017.

_____. **Resolução Normativa nº 687**, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2017.

ARAUJO, A. P. **Estudo comparativo de diferentes sistemas de instalações para produção de leite tipo B, com ênfase nos índices de conforto térmico e na caracterização econômica.** 2001. 69 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade de São Paulo, Pirassununga.

ASSIS, A. G.; STOCK, L. A.; CAMPOS, O. F.; GOMES, A. T.; ZOCCAL, R.; SILVA, M. R. **Sistemas de produção de leite no Brasil.** Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2005. 6p. (Circular Técnica 85).

BATISTA, R. O.; BATISTA, R. O.; FIA, R.; DOMINGUES, R. R. **Manejo de águas residuárias da bovinocultura de leite para uso em cultivos de plantas.** Lavras: Editora UFLA, 2014. 29p. (Boletim Técnico nº 100).

BEAUCHEMIN, K. A.; COLOMBATTO, D.; MORGAVI, D. P.; YANG, W. Z. Use of exogenous fibrolytic enzymes to improve feed utilization by ruminants. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, E. Suppl. 2, p. E37-E47, 2003.

- BEAUCHEMIN, K. A.; KREUZER, M.; O'MARA, F.; McALLISTER, T. A. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v. 48, p. 21-27, 2008.
- BELL, M. J.; ECKARD, R. J.; PRYCE, J. E. Breeding dairy cows to reduce greenhouse gas emission. In: JAVED, K. **Livestock production**. Rijeka, Croatia: InTech, 2012. p. 47-58.
- BELL, M. J.; ECKARD, J. Reducing enteric methane losses from ruminant livestock – its measurement, prediction and the influence of diet. In: JAVED, K. **Livestock production**. Rijeka, Croatia: InTech, 2012. p. 135-150.
- BERNET, N., BÉLINE, F. Challenges and innovations on biological treatment of livestock effluent. **Bioresource Technology**, New York, v. 100, p. 5431-5436, 2009.
- BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 152-169, 2008.
- BOADI, D.; BENCHAAAR, C.; CHIQUETTE, J.; MASSÉ, D. Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Update review. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 84, p. 319-335, 2004.
- BORHAN, M. S.; MUKHTAR, S.; CAPAREDA, S.; RAHMAN, S. Greenhouse gas emissions from housing and manure management systems at confined livestock operations. In: REBELON, L. F. M. **Waste management: an integrated vision**. Rikela, Croatia: InTech, 2012. p. 259-296.
- BRANCO, A. F. **Manual de instalações para confinamento de bovinos**. Maringá: IEPEC, 2015.
- ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Resolução Nº 8, de 30 de Janeiro de 2015. Estabelece a especificação do Biometano contida no Regulamento Técnico ANP nº 1/2015, parte integrante desta Resolução. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2 fev. 2015, Seção 1, p. 100.
- _____. **Biometano**. 2016. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis/biometano>>. Acesso em: 27 maio 2017.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 62, de 29 de dezembro de 2011. Aprova o Regulamento Técnico de Produção, Identidade e Qualidade do Leite tipo A, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Cru Refrigerado, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Pasteurizado e o Regulamento Técnico da Coleta de Leite Cru Refrigerado e seu Transporte a Granel. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 30 dez. 2011. Seção 1, p. 1-24.
- _____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho

Nacional de Recursos Hídricos. Resolução Nº 54 de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável e dá outras providências. **Diário Oficial da União, Brasília**, 09 mar. 2006.

CAMPOS, A. T.; KLOSOWSKI, E. S.; CAMPOS, A. T. **Construções para gado de leite**: instalações para novilhas. 2006. Disponível em: <<https://docs.ufpr.br/~freitasjaf/artigos/constru%E7%F5es.htm>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

CAPPER, J. L.; CADY, R. A.; BAUMAN, D. E. The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.87, p.2160-2167, 2009.

CARDOSO, A. S. **Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no Brasil Central**. 2012. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Agronomia - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

CARDOSO, E. G. **Engorda de bovinos em confinamento**: aspectos gerais. 1996. Disponível em: <<http://old.cnpqc.embrapa.br/publicacoes/doc/doc64/05alimentos.html>>. Acesso em: 17 maio 2017.

CARMONA, J. C.; BOLIVAR, D. M.; GIRALDO, L. A. El gas metano en la producción ganadera y alternativas

para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, Medellín, v.18, p.49-63, 2005.

CERVA, C. **Manual de boas práticas na produção de leite em propriedades de agricultura familiar do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAGRO, 2013.

CHAGUNDA, M. G. G.; RÖMER, D. A. M.; ROBERTS, D. J. Effect of genotype and feeding regime on enteric methane, non-milk nitrogen and performance of dairy cows during the winter feeding period. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 122, p. 323-332, 2009.

CHANDRAMONI, S. B.; JADHAO, C. M.; TIWARI, C. M.; KHAN, M. Y. Energy metabolism with particular reference to methane production in Muzaffarnagari sheep fed rations varying in roughage to concentrate ratio. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 83, p. 287-300, 2000.

CHYNOWETH, D. P., WILKIE, A. C., OWENS, J. M. Anaerobic treatment of piggery slurry – review. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, Seoul, Korea, v. 12, p. 607–628, 1999.

CLARINDO, R. L. **Fontes energéticas e protéicas para bovinos confinados em fase de terminação**. 2006. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CNA – CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **Boas práticas no uso da água:** captação de água de chuva e armazenamento em cisterna para uso na produção animal. Brasília: Embrapa Pecuária, 2016a.

_____. **Brasil pode se tornar o maior produtor de carne bovina do mundo.** 2016b. Disponível em: <<http://www.cnabrazil.org.br/noticias/brasil-pode-se-tornar-o-maior-produtor-de-carne-bovina-do-mundo>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra Brasileira de grãos:** monitoramento agrícola – safra 2016/17. Brasília, 2017. v. 4, 176p.

COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto.** 2006. 194 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

FERREIRA, L. M. S. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros com e sem separação da fração sólida.** 2013. 67 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

GEBLER, L.; PALHARES, J. C. P. **Gestão ambiental na agropecuária.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 310 p.

GREGO, A.; ROSA, S. S. **Silagem de grãos úmidos traz vantagens econômicas e nutricionais.** 2002. Disponível em: <<http://www.unesp.br/proex/informativo/edicao13jul2002/materias/silagem.htm>>. Acesso em: 18 maio 2017.

GUAN, H.; WITTENBERG, K. M.; OMINSKI, K. H.; KRAUSE, D. O. Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, p. 1896-1906, 2006.

HANSEN, M. N., KAI, P., MOLLER, H. B. Effects of anaerobic digestion and separation of pig slurry on odor emission. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 22, p. 135-139, 2006.

JOBIM, C. C.; BRANCO, A. F.; SANTOS, G. T. Silagem de grãos úmidos na alimentação de bovinos leiteiros. In: SIMPÓSIO GOIANO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE BOVINOS DE CORTE E LEITE, 5., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2012. p. 357-376.

JOHNSON, K. A.; JOHNSON, D. E. Methane Emissions from Cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.73, p.2483-2492, 1995.

LOPES, M. A.; MAGALHÃES, G. P. Análise da rentabilidade da terminação de bovinos de corte em condições de confinamento: um estudo de caso. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 57, p. 374-379, 2005.

LORIMOR, J.; POWERS, W. **Manure characteristics:** manure management systems series. 2. ed. Ames: MidWest Plan Service, 2004. 24p.

LOZANO, M. G.; YADIRA, P. G.; ARELLANO, K. A. A.; E, L. O. C.; BALAGURUSAMY, N. Livestock Methane Emission: Microbial Ecology and Mitigation Strategies. In: SEKKIN, S. **Livestock science**. Rijeka, Croatia: InTech, 2017. p. 51-71.

MALIK, P. K.; KOLTE, A. P.; DHALI, A.; SEJIAN, V.; THIRUMALAISAMY, G.; GUPTA, R.; BHATTA, R. GHG Emissions from livestock: challenges and ameliorative measures to counter adversity. In: MANNING, A. J. **Greenhouse gases:** selected case studies. Rijeka, Croatia: InTech, 2016. p. 1-16.

MARTIN, C.; MORGAVI, D. P.; DOREAU, M. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. **Animal**, Cambridge, v. 4, p. 351-365, 2010.

MURPHY, M. R. Water metabolism of dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 75, p. 326-333, 1992.

NATEL, A. S. **Nitrato na dieta de ruminantes como estratégia nutricional para mitigação de metano entérico**. 2016. 122 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

NRCS - NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. **Composting Manure:** What's going on in the dark? 2007. Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_043439.pdf>. Acesso em: 26 mai 2017.

NUMMER FILHO, I. Silagem de grão úmido de milho. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA SUINOCULTURA, 9., 2001, Gramado. **Anais...** Gramado, 2001.

ODONGO, N. E.; BAGG, R.; VESSIE, G.; DICK, P.; OR-RASHID, M. M.; HOOK, S. E.; GRAY, J. T.; KEBREAB, E.; FRANCE, J.; McBRIDE, B. W. Long-term effects of feeding monensin on methane production in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, p. 1781-1788, 2007.

OLIVEIRA, P. A. V. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos, manual de boas práticas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 109p.

OTENIO, M. H. Reaproveitamento de água residual em sistemas de produção de leite. In: MARTINS, P. C.; PICCININI, G. A.; KRUG, E. E. B.; MARTINS, C. E.; LOPES, F. C. F. **Sustentabilidade ambiental, social e econômica da cadeia produtiva do leite:** desafios e perspectivas. Brasília: Embrapa Gado de Leite, 2015. p. 139-159.

PALHARES, J. C. P. **Captação de água de chuva e armazenamento em cisterna para uso na produção animal**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2016. 33p. (Documentos, 122).

_____. **Consumo de água na produção animal**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2013. 6p. (Comunicado Técnico, 102).

PALHARES, J. C. P.; GUIDONI, A. L. Qualidade da água de chuva armazenada em cisterna utilizada na dessedentação de suínos e bovinos de corte. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 7, p. 244-254, 2012.

PEDREIRA, M. S.; OLIVEIRA, S. G.; BERCHIELLI, T. T.; PRIMAVESI, O. Aspectos relacionados com a emissão de metano de origem ruminal em sistemas de produção de bovinos. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v. 10, p. 24-32, 2005.

PEREIRA, L. G. R. Métodos de avaliação e estratégias de mitigação de metano entérico em ruminantes. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, v.26, p.264-277, 2013.

PLACE, S. E.; MITLOEHNER, F. M. Invited review: Contemporary environmental issues: A review of the dairy industry's in climate change and air quality and the potential of mitigation through improve production efficiency. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 93, p. 3407-3416, 2010.

POMPERMAYER, R. S.; PAULA JUNIOR, D. R. Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. **Anais...** Campinas, 2000. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000200055&lng=en&nrn=abn>. Acesso em: 5 jun. 2017.

POWERS, W.; AUVERMANN, B.; COLE, N. A.; GOOCH, C.; GRANT, R.; HATFIELD, J.; HUNT, P.; JOHNSON, K.; LEYTEM, A.; LIAO, W.; POWELL, J. M. Quantifying greenhouse gas sources and sinks in animal production systems. In: EVE, M.; PAPE, D.; FLUGGE, M.; STEELE, R.; MAN, D.; RILEY-GILBERT, M.; BIGGAR, S. **Quantifying greenhouse gas fluxes in agriculture and forestry**: methods for entity-scale inventory. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture – Office of the Chief Economist, 2014. Chapter 5. (USDA Technical Bulletin 1939).

REED, J. D. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, p. 1516-1528, 1995.

REGELMEIER, F. A.; KOZERSKI, C. E. Aproveitamento de água da chuva em zonas rurais: captação e reservação. In: ASSEMBLÉIA NACIONAL DA ASSEMAE, 45; EXPOSIÇÃO DE EXPERIÊNCIAS MUNICIPAIS EM SANEAMENTO, 19, 2015, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, 2015.

RESENDE, J. A.; DINIZ, C. G.; SILVA, V. L.; CARNEIRO, J. C.; RIBEIRO, M. R.; LIMA, J. C. F.; OTENIO, M. H. **Dejetos bovinos para produção de biogás e biofertilizante por biodigestão anaeróbica**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2015. 5 p. (Circular Técnica, 110).

ROSSO, G. **Práticas simples economizam 30% de água em sala de ordenha**. 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/8841230/praticas-simples-economizam-30-de-agua-em-sala-de-ordenha>>. Acesso em: 2 maio 2017.

SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 2, p. 57-67, 2005.

SANTOS, M. V. **‘Compost barn’ privilegia bem-estar animal**. 2016. Disponível em: <<http://www.portaldbo.com.br/Mundo-do-Leite/Edicao-atual/Compost-barn-privilegia-bem-estar-animal/17533>>. Acesso em: 29 de abr. 2017.

SANTOS, P. M.; CORRÊA, L. A.; BALSALOBRE, M. A. A. **Guia prático para a implantação de sistemas de pastejo rotacionados para gado de corte**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 20 p. (Documentos, 43)

SCHMIDT, P.; BUENO, A. V. I.; NOVINSKI, C. O.; PINTO, S.; SOUZA, C. M.; ROSSI JUNIOR, P. Greenhouse gas emissions from fermentation of sugarcane silages

treated with natamycin or Lactobacillus buchneri. In: GREENHOUSE GASES AND ANIMAL AGRICULTURE CONFERENCE, 5., 2013, Dublin. **Proceedings...** Dublin: Cambridge University Press, 2013. p. 448.

SCHMIDT, P.; SOUZA, C. M.; BACH, B. C. Uso estratégico de aditivos em silagens: Quando e como usar? In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 5., 2014, Maringá. **Anais...** Maringá: UEM, 2014. p. 243-264.

SEJIAN, V.; BHATTA, R.; MALIK, P. K.; MADIJAGAN, B.; AL-HOSNI, Y. A. S.; SULLIVAN, M.; GAUGHAN, J. B. Livestock as Sources of Greenhouse Gases and Its Significance to Climate Change. In: MOYA, B. L.; POUS, J. **Greenhouse gases**. Rijeka, Croatia: InTech, 2016. p. 243-259.

SIGNORETTI, R. D. **Chorume na fertilização de pastagens - parte II dosagens recomendadas**. 2008. Disponível em: <<https://www.scotconsultoria.com.br/imprimir/noticias/21246>>. Acesso em: 26 maio 2017.

SOUZA, C. F.; TINOCO, I. F. F.; SARTOR, V. **Informações básicas para projetos de construções rurais: bovinos de corte**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003. 22p.

SOUZA, C. M.; SCHMIDT, P. **Impacto ambiental da conservação de forragens**. 2015. Disponível em: <<http://www.ensilagem.com.br/>>

impacto-ambiental-da-conservacao-de-forragens/>. Acesso em: 20 maio 2017.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7th ed. Washington, D.C: National Academy Press, 2001.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva de telhados em áreas urbanas para fins não potáveis: diretrizes básicas de um projeto. In: SIMPÓSIO BRASILEIROS DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 6., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2007.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Brazil, Dairy and Products Annual, Annual Dairy Report**. 2016. Disponível em:<https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Dairy%20and%20Products%20Annual_Brasilia_Brazil_10-20-2016.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2017. 13p.

_____. **Livestock and Poultry**: World Markets and Trade. 2017. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2017. 28p.

WARD, D. **Water Requirements of Livestock**. 2007. Disponível em:<<http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/07-023.htm>>. Acesso em: 22 abr. 2017.

WRIGHT, A. D. G.; KENNEDY, P.; O'NEILL, C. J.; TOOVEY, A. F.; POPOVSKI, S.; REA, S. M.; PIMM, C. L.; KLEIN, L. Reducing methane emissions in sheep by immunization against rumen methanogens. **Vaccine**, Amsterdam, v. 22, p. 3976-3985, 2004.

YADVIKA; SANTOSH; SREEKRISHNAN, T. R.; KOHLI, S.; RANA, V. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques – a review. **Bioresource Technology**, New York, v. 95, p. 1-10, 2004.



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



ISBN xxx-xx-xxxx-xxx-x

