

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

PLANO DE MANEJO DE RESÍDUOS DE
BOVINOCULTURA LEITEIRA DE UMA
PROPRIEDADE RURAL NO MUNICÍPIO DE
SANTA BÁRBARA DO MONTE VERDE, MG.

Tatiana Nacur Almeida Ricardo

Juiz de Fora

2016

PLANO DE MANEJO DE RESÍDUOS DE
BOVINOCULTURA LEITEIRA DE UMA
PROPRIEDADE RURAL NO MUNICÍPIO DE
SANTA BÁRBARA DO MONTE VERDE, MG.

Tatiana Nacur Almeida Ricardo

Tatiana Nacur Almeida Ricardo

PLANO DE MANEJO DE RESÍDUOS DE
BOVINOCULTURA LEITEIRA DE UMA
PROPRIEDADE RURAL NO MUNICÍPIO DE
SANTA BÁRBARA DO MONTE VERDE, MG.

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado
do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito
parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental
e Sanitarista.

Área de concentração: Meio Ambiente
Linha de pesquisa: Saneamento Rural
Orientador: Jonathas Batista Gonçalves Silva
Coorientador: Otávio Eurico de Aquino Branco

Juiz de Fora

Faculdade de Engenharia da UFJF

2016

AGRADECIMENTOS

Foram tantas dúvidas, nervosismo, preocupação e muita dedicação. A todos aqueles que estiveram ao meu lado torcendo, contribuindo e apoiando, o meu muito obrigado!

Primeiramente, agradeço a Deus pelo amparo, proteção e força na conclusão de mais uma importante etapa de minha vida.

Aos meus pais, Ernani e Glênia, sem vocês não teria chegado até aqui, obrigada pelo incentivo, amor e dedicação sempre.

Aos meus irmãos, Lucas e Gabriela, pela paciência e por serem meu motivo de ser a cada dia uma pessoa melhor e nunca desistir.

A toda minha família, em especial à minha madrinha Grace, por estar sempre ao meu lado e pelas boas vibrações.

Aos professores da Faculdade de Engenharia, em especial aos do Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, por todo aprendizado transmitido e por contribuírem na minha formação profissional e pessoal.

Agradeço ainda ao Luiz Carlos, primeiramente pela confiança em mim depositada, pela disponibilidade e auxílio para a execução deste trabalho.

Aos amigos conquistados na Faculdade de Engenharia por compartilharem junto a mim os momentos difíceis e principalmente os momentos de alegria. Sem dúvidas vocês fizeram com que essa caminhada fosse mais leve e prazerosa!

Obrigada a todos que de alguma forma fizeram parte desta jornada!

RESUMO

A bovinocultura de leite é uma atividade de reconhecida importância no Brasil, contudo, responsável pela geração de grande volume de águas residuárias, que necessitam de tratamento adequado. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi propor um plano de manejo dos efluentes da bovinocultura leiteira de uma propriedade rural no município de Santa Barbara do Monte Verde, MG. A fim de oferecer ao proprietário condições de usos dos recursos hídricos de maneira sustentável, foi proposto um sistema de tratamento para os efluentes através da utilização de um biodigestor tipo canadense, com volume de 130 m³, o qual produzirá o biofertilizante para utilização na capineira e piquetes existentes na propriedade. Ainda nesse contexto, foi proposto um sistema de captação de água de chuva, com reservatório de 1 m³, de modo a gerar 53% de economia de água captada, ao ano. O volume de biofertilizante produzido será de 1.204,5 m³, o qual será aplicado sob lâmina de fertirrigação de 329 mm. O manejo da fertirrigação deverá ser feito de forma que a cada 3 dias, uma área de cerca de 30 m² da capineira receba 10 m³ de biofertilizante através de aspersão. Com estas propostas a propriedade dará a seus efluentes uma destinação ambientalmente correta proporcionando uma economia na aquisição de fertilizantes, e ainda com o armazenamento das águas de chuva irá preservar o manancial hídrico pela redução da captação de água.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1	SITUAÇÃO DA ATIVIDADE LEITEIRA NO BRASIL.....	15
3.2	GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA BOVINOCULTURA DE LEITE	17
3.3	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	20
3.4	PRINCIPAIS MÉTODOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE BOVINOCULTURA	20
3.4.1	Filtros Anaeróbios	22
3.4.2	Reatores UASB.....	22
3.4.3	Lagoas de Estabilização	23
3.4.4	Biodigestores.....	23
3.4.5	Disposição Controlada no Solo.....	27
3.4.5.1	Infiltração – Percolação.....	28
3.4.5.2	Escoamento Superficial	29
3.4.5.3	Sistemas Alagados Construídos.....	29
3.4.5.4	Fertirrigação	30
3.5	APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA.....	33
3.5.1	Visão Geral do Sistema.....	34
3.5.2	Principais Componentes do Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial	35
3.5.3	Área de Captação	35
3.5.4	Calhas e Condutores.....	36
3.5.5	Dispositivos de Segurança e Qualidade	36
3.5.6	Reservatório	36
4	MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1	DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	39
4.2	DESCRIÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA GASTO NA BOVINOCULTURA	41
4.3	DESCRIÇÃO DO ATUAL MANEJO DOS RESÍDUOS	43
4.4	DESCRIÇÃO DA PROPOSTA	44
4.4.1	Dimensionamento do Aproveitamento da Água Da Chuva	44
4.4.2	Dimensionamento do Sistema de Tratamento - Biodigestor.....	49

4.4.3	Determinação da Fertirrigação	50
5	RESULTADOS	52
5.1	APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA.....	52
5.2	SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE – BIODIGESTOR	54
5.3	LÂMINA DE FERTIRRIGAÇÃO	57
6	CONCLUSÃO	59
7	RECOMENDAÇÕES.....	60
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – (a) Produção Brasileira de Leite – 1990 a 2014; (b) Produção de leite por região (% do total).	16
Figura 2 - Tratamento Preliminar	21
Figura 3 - Benefícios do Biodigestor.....	24
Figura 4 - Esboço do sistema de biodigestão	26
Figura 5 - Representação esquemática de um sistema de infiltração - percolação.....	28
Figura 6 - Representação esquemática de um sistema de escoamento superficial.....	29
Figura 7 - Representação esquemática de um sistema de alagado construído	30
Figura 8 – Exemplo de sistema de fertirrigação por gotejamento (a) e por aspersão (b).	33
Figura 9 - Usos Múltiplos da água	34
Figura 10 - Esquema simplificado de um sistema de aproveitamento de chuva.....	35
Figura 11 - Imagem de satélite da localização da propriedade.....	39
Figura 12 – Instalações da propriedade: (a) Sala de Ordenha, (b) Curral de Espera, (c) Área de trato dos animais e (d) bezerreiro.	40
Figura 13 - Demarcação da capineira e dos piquetes (P1, P2, P3 e P4).....	41
Figura 14 - (a) Represa que fornece água para as instalações de bovinocultura; (b) Caixa de água onde é armazenada a água antes do uso e (c) Bebedouro para dessedentação dos animais.	42
Figura 15 - Coletores do tipo canaleta através dos quais os efluentes são direcionados até pequenas caixas e dessas até o corpo hídrico.....	44
Figura 16 - Vista do Sítio Santa Cruz mostrando os telhados existentes na propriedade	45
Figura 17 - Localização das instalações	46
Figura 18 - Exemplo da tabela gerada a partir do método da simulação para determinação do melhor volume de reservatório	48
Figura 19 - Esquema de calha retangular para captação de águas de chuva em telhado.....	49
Figura 20 - Modelos de caixa d'água (a) e cisterna (b)	53
Figura 21 - (a) Planta esquemática superior do biodigestor; (b) Perfil esquemático do biodigestor mostrando altura.	55
Figura 22 - Localização recomendada para instalação do biodigestor	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Participação da produção de leite, segundo as grandes regiões (2012 – 2013).....	15
Tabela 2 – Consumo de água pelo gado leiteiro (litros/cab/dia), por categoria, nas condições de Brasil–Central, em criação semi-intensiva.	18
Tabela 3 - Caracterização da água residuária de bovinocultura de leite	19
Tabela 4 - Atributos físico químicos do biofertilizante.....	27
Tabela 5 – Sobrevivência de patógenos no solo e plantas, sob temperatura ambiente entre 20° e 30°C.	32
Tabela 6 - Variação da qualidade da água devido a área de captação.....	36
Tabela 7 - Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis.....	38
Tabela 8 - Relação entre tempo médio de lavagem e volume de água utilizado por dia em cada instalação.	43
Tabela 9 - Dados das áreas de captação de água pluvial	45
Tabela 10 - Precipitação média (Anos 1965 a 2015).....	47
Tabela 11 - Valores utilizados no cálculo da lâmina de fertirrigação	51
Tabela 12 - Volume de chuva aproveitável ao longo do ano	52
Tabela 13 - Frequência de manutenção	54
Tabela 14 - Dimensões do biodigestor	55

1 INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial requer, necessariamente, uma maior produção de alimentos, tanto de origem vegetal quanto animal. Para tanto de modo a atender essa crescente demanda torna-se necessária a modernização dos sistemas de produção, visando maior produtividade e qualidade.

Na produção de alimentos de origem animal, a bovinocultura de leite é uma atividade de grande importância e vem expandindo ao longo dos anos. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em 2014 foram produzidos no Brasil cerca de 35 bilhões de litros de leite.

Esse aumento na produção resulta, também, na geração de grande quantidade de dejetos, que quando lançados de maneira indiscriminada no ambiente ocasionam contaminação do solo, do ar e dos mananciais de água, acarretando potenciais riscos à saúde humana e animal, e ainda causando sobrecarga de nutrientes no solo e eutrofização de cursos d'água.

A quantidade de dejetos produzidos diariamente por bovinos de leite é um dos maiores problemas em sistemas de manejo intensivo. A disposição dos resíduos das instalações animais tem se constituído num desafio para criadores e especialistas, pois envolve aspectos técnicos, sanitários e econômicos.

A quantidade total de efluentes orgânicos produzida em confinamentos de vacas leiteiras varia de 9,0 a 12,0% do peso vivo do rebanho por dia, e depende, também, do volume de água utilizado na limpeza e desinfecção das instalações e equipamentos da unidade de produção (CAMPOS *et. al.*, 2002). No que se refere às características qualitativas da água residuária da bovinocultura de leite, pode-se afirmar que a água é rica em material orgânico, sólidos totais e nutrientes, tais como o nitrogênio e o potássio (ERTHAL *et. al.*, 2010).

Neste contexto, destacam-se alguns trabalhos que apresentam técnicas de tratamento de fácil operação e de baixo custo as quais são recomendadas para o meio rural, dentre eles Silva e Roston (2010); Aires *et. al.* (2014); Daniel (2015); Rodrigues *et. al.* (2010); Pelisari (2013) e Erthal (2008); os quais citam as lagoas de estabilização, biodigestores,

reatores UASB, *wetlands* construídos e também disposição no solo como opções para tratamento de efluentes de agroindústrias.

A utilização conjugada destas técnicas ocasiona melhores resultados quanto a eficiência na redução da carga orgânica do efluente, podendo ainda gerar economia financeira.

No caso dos biodigestores, essa redução da carga orgânica se dá por processos anaeróbios, onde se produz biofertilizante e ainda o biogás. Tal biofertilizante pode ser utilizado na agricultura sob a forma de fertirrigação, que proporciona fertilização e condicionamento do solo e, com isso, retorno financeiro da produção de áreas agricultáveis.

O aproveitamento de águas residuárias da bovinocultura de leite via fertirrigação, requer alguns cuidados como tratamentos adequados para minimizar os riscos de poluição ambiental e de entupimento de emissores do sistema de irrigação a ser implantado.

A aplicação de água residuária no solo tem se tornado uma alternativa efetiva na disposição final de efluentes agroindustriais ricos em material orgânico e nutrientes. O aproveitamento de águas residuárias na fertirrigação de culturas agrícolas pode possibilitar aumento de produtividade e qualidade dos produtos colhidos, redução da poluição ambiental e dos custos de produção, além de promover melhoria nas características químicas, físicas e biológicas do solo (MELI, *et. al.*, 2002; QUEIROZ *et. al.*, 2004; BARROS *et. al.*, 2005; SANTOS *et. al.*, 2006).

A falta de tratamento de esgoto e dejetos animais na zona rural tem forçado a busca por soluções práticas, econômicas e eficientes para tratamento e reuso de águas residuárias. No Brasil, o reuso tem sido incentivado como forma de minimizar a escassez de água potável e a degradação de mananciais causada pelo despejo direto de esgotos e resíduos (BERTONCINI, 2008).

Neste cenário, outra forma de minimizar o uso dos recursos naturais, diminuindo os impactos ambientais, é o processo de captação de água da chuva para fins não potáveis.

O aproveitamento da água de chuva deixou de ser visto apenas como solução para os problemas de água em alguns países e vem sendo considerado como uma forma do uso correto da água levando em conta a viabilidade econômica e o respeito ao meio ambiente (MAY, 2004). A pecuária leiteira consome em média de 10 a 100 L. dia⁻¹ por animal de

água para a higienização de suas instalações (WOLTERS e BOEREKAMP (1994) *apud* MORAES e JÚNIOR (2004) e BUENO (1986) *apud* MORAES e JÚNIOR (2004)), o que corrobora a necessidade de uma fonte alternativa de captação no meio rural, onde o aproveitamento das águas pluviais se encaixa.

Diante do exposto, torna-se necessário a apresentação de alternativas para o produtor rural que proporcione a redução de água captada em virtude do reuso de águas de chuva e ainda soluções para a disposição ambientalmente correta dos resíduos gerados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é propor uma adequação do manejo dos efluentes da bovinocultura de leite de uma propriedade rural no município de Santa Bárbara do Monte Verde, MG.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos, destacam-se:

- (I) Dimensionar um sistema de aproveitamento de água de chuva;
- (II) Dimensionar um sistema de tratamento de efluentes do tipo biodigestor;
- (III) Determinar a lâmina de efluente tratado para fertirrigação da capineira e piquetes;
- (IV) Propor o manejo de aplicação do biofertilizante.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SITUAÇÃO DA ATIVIDADE LEITEIRA NO BRASIL

O leite está entre os produtos mais importantes da agropecuária brasileira, assim como o café e o arroz. O agronegócio do leite e seus derivados desempenha um papel relevante no suprimento de alimentos e na geração de emprego e renda para a população (BRASIL, 2014).

Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department of Agriculture - USDA), a produção brasileira de leite, em 2013, foi a quinta maior no mundo, ficando atrás somente da União Europeia, Estados Unidos, Índia e China (IBGE, 2013). A participação regional na quantidade produzida de leite em 2013 foi de 35,1% na Região Sudeste; 34,4% na Sul; 14,6% na Centro-Oeste; 10,5% na Nordeste; e 5,4% na Norte (Tabela 1).

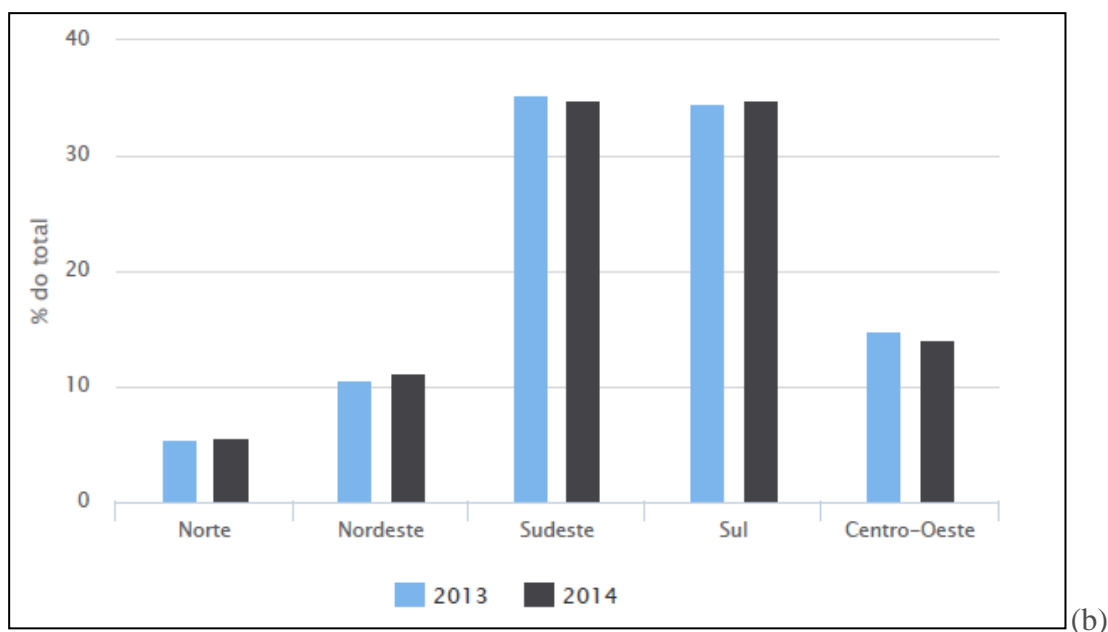
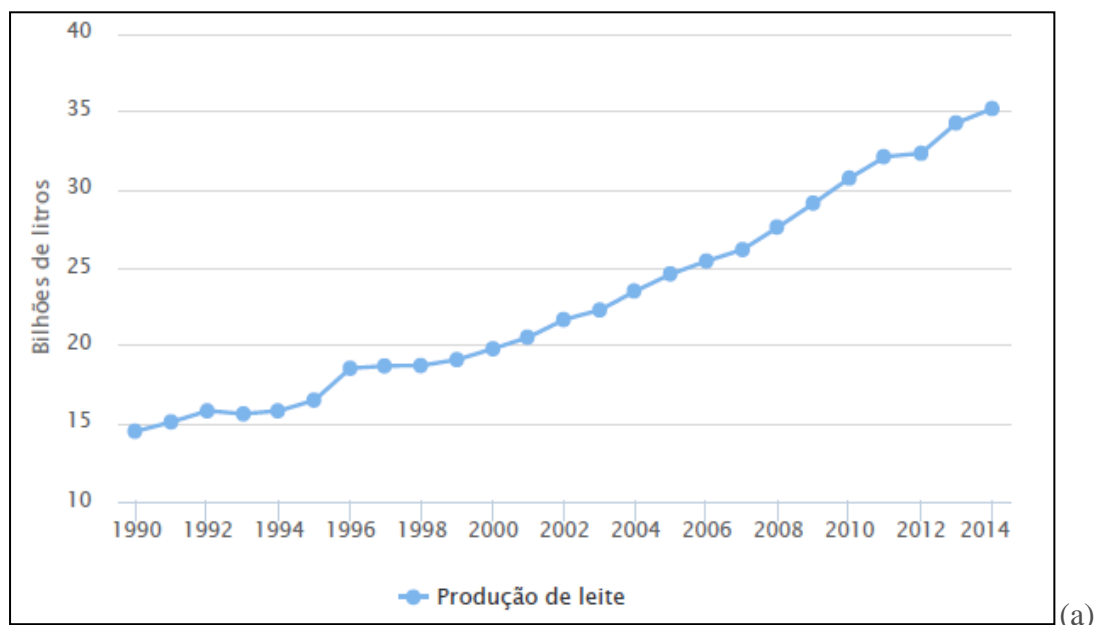
Tabela 1 – Participação da produção de leite, segundo as grandes regiões (2012 – 2013).

Grandes Regiões	Participações da produção de leite (%)	
	2012	2013
Norte	5,1	5,4
Nordeste	10,8	10,5
Sudeste	35,9	35,1
Sul	33,2	34,4
Centro-Sul	14,9	14,6

Fonte: IBGE, Pesquisa da Pecuária Municipal 2012 - 2013.

A pecuária leiteira é uma das atividades mais tradicionais do meio rural brasileiro, segundo o IBGE, pelo último censo agropecuário (IBGE, 2006), existem no Brasil aproximadamente 5,2 milhões de estabelecimentos rurais dos quais 25% (aproximadamente 1,35 milhões) produzem leite, envolvendo cerca de cinco milhões de pessoas. O valor bruto da produção de leite em 2013, por exemplo, foi de R\$ 22,9 bilhões (Figura 01) contribuindo para movimentar principalmente a economia das pequenas e médias cidades brasileiras (BRASIL, 2014).

Figura 1 – (a) Produção Brasileira de Leite – 1990 a 2014; (b) Produção de leite por região (% do total).



Fonte: Dados IBGE. Disponível em: <http://www.milkpoint.com.br/cadeia-do-leite/giro-lacteo/ibge-producao-total-aumentou-6-em-2013-92662n.aspx>. Acesso em: 13/10/2015.

O Brasil apresenta condições endofoclimáticas que possibilitam a adaptação da atividade leiteira às peculiaridades regionais. Por essa razão, atualmente, a pecuária leiteira é praticada em todo território nacional, através de diversos modelos ou formas de produção do leite, com variados graus de especialização, incluindo desde propriedades de subsistência, as quais utilizam técnicas rudimentares, com baixas produções até grandes propriedades produtoras que utilizam tecnologias avançadas, com produções diárias elevadas.

Segundo o IBGE, em 2014 foram produzidos no Brasil 35,17 bilhões de litros de leite, produção esta que acarreta a geração de um elevado volume de água residuária proporcionando um potencial de poluição, de forma que a simples disposição dessas águas no solo ou em cursos de água sem tratamento adequado pode causar significativos impactos devido à sobrecarga de nutrientes, podendo ocasionar, dentre outros, a eutrofização dos cursos de água.

Conforme já citado, o Brasil apresenta grande variabilidade nos sistemas de produção. No presente trabalho será utilizada a classificação apresentada por Assis *et. al.* (2005) *apud* Johann (2010), conforme a alimentação e produtividade, sendo eles, extensivo, semi-extensivo, intensivo a pasto e intensivo em confinamento.

- Sistema extensivo: Animais criados exclusivamente a pasto, com produção menor que 1200 litros/vaca ordenhada/ano;
- Sistema semi-extensivo: Animais criados a pasto, com suplementação volumosa na época de menor crescimento do pasto e produção entre 1200 a 2000 litros/vaca ordenhada/ano;
- Sistema intensivo a pasto: Animais criados a pasto com forrageiras de alta capacidade de suporte, com suplementação volumosa na época de menor crescimento do pasto ou, até mesmo, durante o ano todo, e produtividade variando de 2000 a 4500 litros/vaca ordenhada/ano e
- Sistema intensivo em confinamento: Animais mantidos em confinamento e alimentados no cocho com forragens conservadas, como silagens e fenos, com produção maior que 4500 litros/vaca ordenhada/ano.

3.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA BOVINOCULTURA DE LEITE

A quantidade e a qualidade das descargas e de águas residuárias, de um sistema de produção animal, dependem de vários fatores de manejo. O tipo de instalação adotado e o regime de confinamento são os principais deles.

No Brasil, praticamente, não há registros de trabalhos de pesquisa, para sistemas mais avançados de tratamento e estabilização de dejetos de animais. A disposição do esterco no

solo é feita de maneira empírica, sem qualquer preocupação com o equilíbrio ecológico do sistema e suas consequências (CAMPOS, 1997).

Depois do oxigênio, a água é o elemento mais importante para os seres vivos. Sendo o alimento de maior requisição quantitativa para o gado de leite, os quais necessitam de mais água em relação a seu peso vivo, do que outras espécies, devido o leite possuir 87% de água.

O consumo de água por vaca em lactação, Tabela 2, depende de vários fatores: o estado fisiológico, a produção de leite, o peso corporal, a raça e o consumo de matéria seca. A composição da dieta, o ambiente, o clima e a qualidade da água são outros fatores que influem no consumo (CAMPOS, 2001).

Tabela 2 – Consumo de água pelo gado leiteiro (litros/cab/dia), por categoria, nas condições de Brasil–Central, em criação semi-intensiva.

Categoria animal	Consumo (litros/cab/dia)	Varição (\pm)
Vaca em lactação	62,5	15,6
Vaca e novilha no final de gestação	50,9	12,9
Vaca seca e novilha gestante	45,0	12,9
Novilha em idade de inseminação	48,8	14,4
Fêmea desmamada (até inseminação)	29,8	7,2
Bezerro lactente (a pasto)	11,2	3,0
Bezerro lactente (baia até 60 dias)	1,0	0,4

Fonte: Benedetti (1986) *apud* Campos (2001).

Segundo Matos (2005), uma vaca leiteira com 400 Kg de peso médio produz de 38 a 50 Kg de excretas diariamente, sendo deste total, 28 a 32 Kg de fezes e o restante, de urina. Contudo, na bovinocultura de leite, além dos resíduos gerados pelos animais, devem ser considerados aqueles provenientes da retirada ou processamento do leite. A quantidade de resíduo líquido produzido em instalações de bovinocultura de leite depende do manejo adotado, de forma que o consumo de água pode variar de 40 a 600 litros por vaca ordenhada (MATOS, 2005).

Considerando que no Brasil, uma pessoa elimina em média 54 g DBO₅. dia⁻¹ (VON SPERLING, 2005), para Matos (2005), o equivalente populacional de uma vaca leiteira pode variar de 16 a 38 pessoas.

Mas, de forma geral, a vazão de águas residuárias geradas é função do número de animais, da quantidade de água desperdiçada nos bebedouros, da quantidade de água utilizada na higienização das instalações e no transporte hidráulico dos dejetos.

Silva et. al. (2012) apresenta a seguinte caracterização da água residuária de bovinocultura leiteira (Tabela 3).

Tabela 3 - Caracterização da água residuária de bovinocultura de leite

Parâmetro	Valor
pH	6,54
CE (dS m ⁻¹)	3,03
ST (mg L ⁻¹)	16.351
DQO (mg L ⁻¹)	16.802
DBO (mg L ⁻¹)	2.380
Ntotal (mg L ⁻¹)	2.245
N-NH (mg L ⁻¹)	1.909
P (mg L ⁻¹)	89,35
K (mg L ⁻¹)	102,33
Na (mg L ⁻¹)	37,50
Ca (mg L ⁻¹)	210,10
Mg (mg L ⁻¹)	137,55
Zn (mg L ⁻¹)	1,00
Cu (mg L ⁻¹)	6,25

Fonte: SILVA, et. al., 2012.

3.3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

Em linhas gerais, as exigências nacionais, para lançamento de efluentes da bovinocultura de leite em corpos hídricos receptores, seguem o disposto na Resolução CONAMA nº 430/2011, sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, a qual complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357/2005.

A Resolução CONAMA nº 430/2011, ainda, encarrega os órgãos ambientais estaduais as funções de fiscalizar, orientar e punir as atividades potencialmente poluidoras, bem como definir diretrizes locais para emissão dos efluentes, caso necessário. Neste contexto, com relação a Minas Gerais (MG), tem-se a Deliberação Normativa Conjunta do Conselho de Política Ambiental do Estado e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos COPAM/ CERH nº 1/2008, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento e ainda estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes.

Em termos de água de reuso, pode-se citar a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos nº 54/2005 que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e esta ainda define a Resolução CNRH nº 121/2010, a qual é mais específica em relação à prática do reuso na modalidade agrícola e florestal.

Atualmente, o Brasil não dispõe de uma legislação voltada para aplicação, especificamente, de dejetos de bovinos leiteiros no solo, porém segundo Matos (2007), a aplicação de dejetos pode ser baseada na quantidade de nutrientes referenciais, normalmente nitrogênio ou fósforo. Essa quantidade será balanceada com o que está disponível no solo e com o tipo de cultura a ser plantada. Dessa forma, somente será aplicado no solo o que a cultura poderá absorver, de acordo com a sua recomendação agronômica.

3.4 PRINCIPAIS MÉTODOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE BOVINOCULTURA

Os sistemas de criação de bovinos tem contribuído para o surgimento de problemas ambientais devida à elevada produção de resíduos, que na maioria das vezes é disposta sem tratamento diretamente nos corpos de água e no solo de forma irregular.

A literatura apresenta um vasto número de processos de tratamento para o manejo de águas residuárias e sua reciclagem no ambiente. Esses processos de tratamento são utilizados isoladamente ou conjugados, sendo que a maioria tem como base os tratamentos de esgotos sanitários (CAMPOS, 1997).

A primeira etapa de tratamento do efluente, conhecida como tratamento preliminar, tem como objetivo, exclusivamente a remoção de sólidos grosseiros e areia (Figura 02), com a finalidade de proteção das unidades de tratamento subsequentes e ainda proteção do corpo receptor, tendo os mecanismos básicos de remoção de ordem física.

Figura 2 - Tratamento Preliminar



Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 2005.

Segundo Von Sperling (2005), a remoção de sólidos grosseiros é feita frequentemente por meio de grades ou peneiras, tendo o material de dimensões maiores que o espaçamento entre as barras, retido.

Ainda no tratamento preliminar, tem-se o desarenador com a finalidade de remoção da possível areia presente no efluente. Neste caso, o mecanismo de remoção é a sedimentação, os grãos de areia, devido à maiores dimensões e densidade vão para o fundo do tanque, enquanto a matéria orgânica, de sedimentação lenta, permanece em suspensão e segue para as unidades de tratamento a jusante.

As etapas subsequentes têm como principal objetivo a remoção da matéria orgânica presente no efluente, sendo uma forma de acelerar os mecanismos de degradação que ocorrem naturalmente nos corpos receptores (VON SPERLING, 2005).

Considerando a praticidade e os custos de operação e manutenção, os principais métodos para tratamento de efluentes agroindustriais são os sistemas anaeróbios, os sistemas de lagoas de estabilização e ainda os sistemas wetlands construídos (MATOS, 2005). Tem-se ainda, a disposição controlada no solo, que além de ser considerada como forma de tratamento de efluentes, é também um método de disposição final destes.

O tratamento mais recomendado aos dejetos e águas residuárias de instalações de bovinos é do tipo biológico (CAMPOS, 1997), tendo como base o contato efetivo entre microrganismos e o material orgânico contido no efluente, de modo a convertê-lo em gás carbônico, água e alimento para os microrganismos. Quando o processo ocorre na ausência de oxigênio, condições anaeróbias, tem-se, dentre outros, a produção de metano (VON SPERLING, 2005).

3.4.1 Filtros Anaeróbios

A utilização de filtros anaeróbios tem sido amplamente utilizada no meio rural e em pequenas comunidades. Estes são reatores com biofilmes, onde a biomassa cresce aderida a um meio suporte, usualmente pedras, funciona com fluxo ascendente, com elevada carga de DBO por unidade de volume, garantindo assim as condições anaeróbias e um menor volume do reator. Os filtros anaeróbios devem ser fechados, para que não haja entrada de oxigênio, principalmente (VON SPERLING, 2005).

Segundo Matos (2005), os filtros anaeróbios quando utilizados para tratamento de efluentes agroindustriais, requerem unidades de decantação primária à montante e um pós-tratamento. O emprego de uma lagoa facultativa, como pós-tratamento, condiciona ao efluente melhores características para lançamento no corpo receptor, pois a remoção de DBO nos filtros anaeróbios é baixa, o efluente geralmente apresenta aspecto desagradável e concentração elevada de nutrientes.

3.4.2 Reatores UASB

Os reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), também denominados de RAFA (Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente) e ainda como Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo são vistos por Von Sperling (2005) como tendência atual para tratamento de esgotos no Brasil, tanto como unidades únicas ou seguidas de pós-tratamento. Nos reatores UASB a biomassa cresce dispersa no meio, formando pequenos grânulos, os quais tendem a servir de

meio suporte para outras bactérias, porém sem utilização de um meio suporte físico. Nesses reatores, a concentração de biomassa é bem elevada, fazendo com que o volume requerido pelos reatores UASB seja bastante reduzido (VON SPERLING, 2005).

A utilização de efluente de UASB na fertirrigação é uma boa opção para águas residuárias agroindustriais, mas para o caso de lançamento em corpos hídricos, o efluente de UASB necessita de um pós-tratamento, que pode ser obtido em uma lagoa facultativa, por escoamento superficial no solo ou em unidades *wetlands* construídos (MATOS, 2005).

3.4.3 Lagoas de Estabilização

As lagoas de estabilização são unidades projetadas para tratar águas residuárias por mecanismos predominantemente biológicos. De acordo com Von Sperling (2005), as lagoas de estabilização podem ser classificadas em: lagoas facultativas, sistemas de lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas, lagoas aeradas facultativas, sistemas de lagoas aeradas de mistura completa seguidas de lagoas de sedimentação, lagoas de alta taxa, lagoas de maturação e ainda lagoas de polimento.

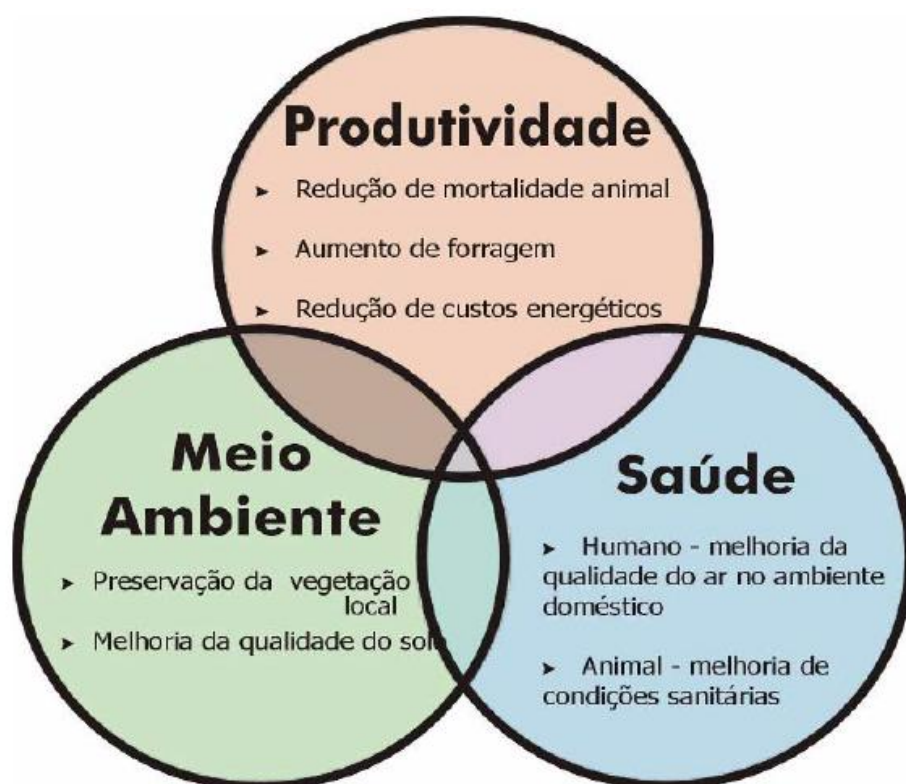
A lagoa facultativa é, dentre as demais, o processo mais simples, uma vez que depende unicamente de fenômenos naturais, como sedimentação e decomposição, após vários dias de percurso.

Segundo Jordão e Pessoa (2014), as lagoas de estabilização têm tido uma importante aplicação, além de apenas proteção ambiental e proteção da saúde pública, estas têm sido utilizadas na preparação do efluente para uso na agricultura. Porém, estas abrangem em geral grandes áreas, sendo um inconveniente ao seu uso em pequenas propriedades rurais.

3.4.4 Biodigestores

Sistemas de biodigestão anaeróbia permitem o aproveitamento do esterco animal, através da redução da concentração da matéria orgânica, sendo uma alternativa capaz de contribuir positivamente na busca por um padrão de desenvolvimento trazendo benefícios, como a preservação do meio ambiente e da saúde humana e animal e ainda o aumento da produtividade (Figura 07).

Figura 3 - Benefícios do Biodigestor



Fonte: Instituto Winrock – Brasil (2008)

O biodigestor é o equipamento no qual se realiza a fermentação anaeróbia de dejetos. O processo fermentativo depende de condições ambientais específicas, como a temperatura, de modo a garantir o crescimento das bactérias e reduzindo assim a carga poluidora (DANIEL, 2015).

Vários modelos de biodigestores têm sido desenvolvidos de modo a buscar a estabilização dos resíduos, aumento da eficiência, além da viabilidade econômica para implantação nas propriedades rurais.

Tal sistema pode ser classificado como contínuo, recebendo cargas diárias ou periódicas e descarregando o fermentado por vasos comunicantes durante o período de funcionamento ou como intermitente, o qual mantém a matéria a ser degradada retida durante um determinado período de tempo (CASTANHO e ARRUDA, 2008).

Os biodigestores são constituídos de um misturador, onde a matéria prima e a água são misturadas; uma câmara, onde ocorre a fermentação anaeróbica; uma válvula, onde sai o biogás; e uma saída para que o biofertilizante seja retirado. A matéria prima utilizada pode ser

esterco, poda de árvores, palha de cana-de-açúcar, sendo que até os dejetos humanos podem ser utilizados (CASTANHO e ARRUDA, 2008).

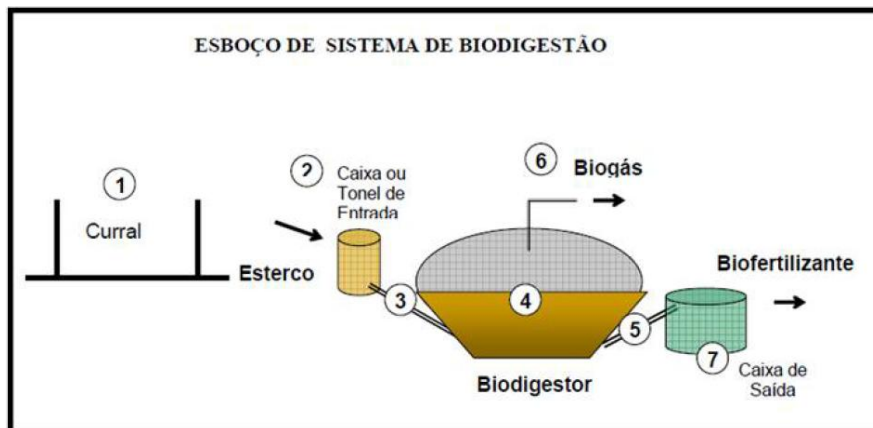
Em relação a outros métodos de tratamento, o biodigestor apresenta algumas vantagens, como a valorização dos dejetos para uso agrônômico como biofertilizante; menor tempo de retenção hidráulica e de área para a degradação anaeróbia, em comparação com os sistemas de lagoas e ainda ocorre a produção de um gás de alto poder energético, capaz de substituir a lenha e a gasolina (EMBRAPA, 2008).

A biodigestão anaeróbia representa uma alternativa para o tratamento de resíduos, pois além da produção do biofertilizante e do biogás, este ainda permite a redução do potencial poluidor e dos riscos sanitários dos dejetos ao mínimo. Amaral *et. al.* (2004) apresentam um estudo, onde a presença de *E.coli* foi usada como indicador para monitorar a redução de patógenos presentes no esterco animal, tratado em biodigestores. Estes autores mostram que vinte dias de tempo de retenção hidráulica já seriam suficientes para promover reduções significativas nas bactérias do grupo coliforme presentes nos efluentes dos biodigestores (AMARAL *et. al.*, 2004).

Os modelos mais conhecidos e utilizados no Brasil, para propriedades rurais são: o indiano, o chinês e o canadense, sendo cada um adaptado a uma realidade e uma necessidade de biofertilizante e biogás.

O biodigestor tubular com manta plástica (Figura 08), também conhecido como biodigestor canadense ou plugflow, é um modelo tipo horizontal, com a largura maior que a profundidade, possuindo, portanto, uma área maior de exposição ao sol, o que possibilita numa grande produção de biogás e evitando o entupimento, e tem seção transversal trapezoidal. O sistema é escavado no solo e revestido no fundo por manta plástica, que deve ser rígida (Poliestireno de Alta Densidade – PEAD). Na superfície constrói-se uma canaleta em torno do biodigestor, que atua como selo de água e para fixação da manta plástica flexível que atua como gasômetro (AGEITEC, s.d). Esse tipo possui uma campânula em lona de PVC o que resulta em menores custos e facilidade de implantação. A cúpula pode ser retirada, o que ajuda na limpeza.

Figura 4 - Esboço do sistema de biodigestão



Fonte: Adaptado de Torres, Pedrosa e Moura, 2012.

Após a digestão anaeróbica no interior do biodigestor, o material se transforma em biofertilizante, com alta qualidade para uso agrícola. Trata-se de um adubo orgânico, normalmente isento de agentes causadores de doenças e pragas às plantas, contribuindo com as características químicas, físicas e biológicas do solo e das plantas.

Mendonça *et. al.* (2015) apresenta as características do biofertilizante produzido a partir de um biodigestor alimentado com efluente de bovinocultura (Tabela 4):

Tabela 4 - Atributos físico químicos do biofertilizante

Atributos	Valor Médio
pH	7,3
Norgânico (mg L ⁻¹)	22,46
Namoniacal (mg L ⁻¹)	29,13
Nitrito (mg L ⁻¹)	0,07
Nitrato (mg L ⁻¹)	42,58
Ntotal (mg L ⁻¹)	94,23
P total (mg L ⁻¹)	31,64
K total (mg L ⁻¹)	0,2
Na (mg L ⁻¹)	0,01

Fonte: MENDONÇA et. al., 2015

Com relação a aspectos sanitários, Amaral *et. al.* (2004) afirmam que a digestão anaeróbia é capaz de reduzir significativamente os coliformes totais e ainda ressaltam a eficiência de remoção de ovos de helmintos parasitas de ruminantes após tratamento por digestão anaeróbia.

O biogás produzido é uma mistura gasosa de caráter combustível, produzida através da digestão anaeróbia do material orgânico presente em um substrato realizado por bactérias na ausência de oxigênio.

3.4.5 Disposição Controlada no Solo

A disposição de águas residuárias agroindustriais no solo é uma técnica atraente para a realidade brasileira, devido às condições de clima tropical e extensão territorial. Esta técnica se baseia na capacidade depuradora do sistema solo-planta, que utiliza mecanismos físicos, químicos e biológicos de remoção dos poluentes contidos nas águas residuárias (ERTHAL *et. al.*, 2010).

A aplicação de esgotos no solo pode ser considerada como forma de tratamento e de disposição final, estes ajudam na recarga do lençol freático e ainda suprem a necessidade das plantas quanto à água necessária e ainda, em termos de nutrientes.

Dentre as vantagens da aplicação de águas residuárias no solo, é possível destacar, o benefício agrícola, uma vez que esta proporciona melhorias nas condições químicas, físicas e biológicas do solo; os baixos níveis de investimento, baixo custo de operação, assim como baixo consumo de energia para as unidades de tratamento e ainda, na maioria dos casos, não há produção de efluentes (TAYLOR e NEAL (1982) *apud* MATOS (2007)).

Contudo, segundo Matos (2005), para disposição de águas residuárias agroindustriais no solo, são necessários estudos que visem a definição de taxas de aplicação (considerando as capacidades de suporte de cada solo) e que resguardem a integridade dos recursos naturais, a fim de evitar problemas de qualidade ambiental.

De acordo com Von Sperling (2005), as formas de disposição podem ser infiltração-percolação, escoamento superficial, fertirrigação e o uso em sistemas alagados (sistema *wetlands*). A escolha de qual método de disposição dependerá do tipo de água residuária, da finalidade e ainda de fatores de projeto, como o tipo de solo, área disponível, condições climáticas, riscos sanitários, entre outros, uma vez que todos os métodos apresentam vantagens e desvantagens (MATOS, 2007).

3.4.5.1 Infiltração – Percolação

O sistema de infiltração-percolação (Figura 03), também chamado de infiltração rápida, utiliza o solo como filtro de modo a purificar o efluente, sendo caracterizado pela percolação da água residuária, constituindo recarga para águas freáticas ou subterrâneas. (MATOS, 2007).

Figura 5 - Representação esquemática de um sistema de infiltração - percolação

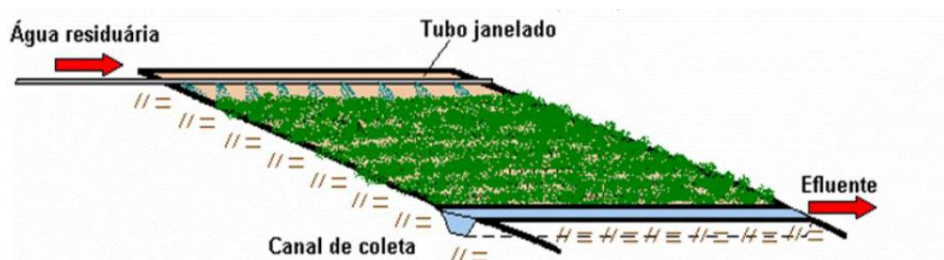


Neste método a água residuária é disposta em canais de infiltração em solos de alta permeabilidade, em local distante de residências e preferencialmente em direção não coincidente com a do vento para áreas urbanas.

3.4.5.2 *Escoamento Superficial*

O método de escoamento superficial (Figura 04) é uma forma de disposição/tratamento, com baixo custo de implantação, operação e manutenção e ainda com boa eficiência na remoção de DBO, sólidos suspensos, nitrogênio e fósforo. Esse método consiste na aplicação controlada e de forma intermitente de águas residuárias no solo, de forma que essas escoem em uma rampa vegetada, onde certa quantidade evapora outra parte infiltra e o restante segue até alcançar canais de coleta (VON SPERLING, 2005; MATOS, 2007).

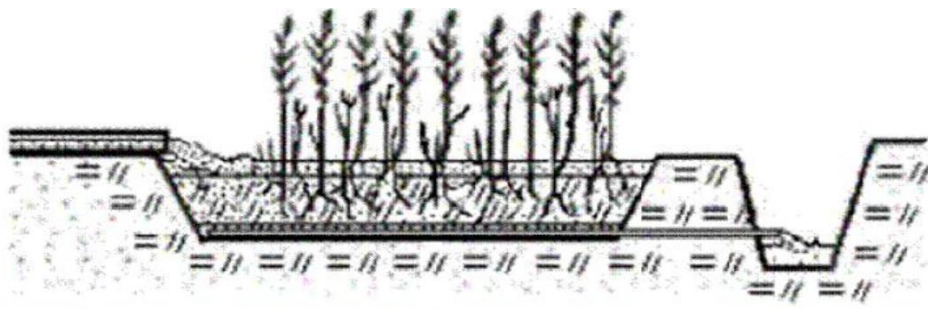
Figura 6 - Representação esquemática de um sistema de escoamento superficial



3.4.5.3 *Sistemas Alagados Construídos*

Os wetlands construídos (Figura 05) são sistemas de tratamento de águas residuárias projetados de modo a copiar a depuração que naturalmente ocorre em ambientes alagados naturais (como brejos e pântanos). De forma geral, são lagoas ou canais rasos que abrigam plantas aquáticas e que se baseiam em mecanismos físicos, químicos e biológicos para tratar águas residuárias (DECEZARO, 2013).

Figura 7 - Representação esquemática de um sistema de alagado construído



Fonte: Matos, 2007

A vegetação que cresce nestas áreas desempenha papel importante no tratamento das águas residuárias, essas funcionam como extratoras de grande parte dos nutrientes disponíveis, evitando o acúmulo e a conseqüente salinização e contaminação das águas superficiais e subterrâneas (MATOS, 2007).

3.4.5.4 Fertirrigação

A fertirrigação, diferente dos demais métodos, é uma técnica de disposição/tratamento onde se prioriza o aproveitamento dos nutrientes contidos nos efluentes. O objetivo é fornecer água residuária em quantidades compatíveis com a necessidade de nutrientes para as culturas.

Erthal (2008) *apud* Matos (2007) afirma que a lâmina de água residuária a ser aplicada como fertirrigação não deve ser calculada em função da reposição das necessidades hídricas da planta, e sim com base nos constituintes que estiverem em maior concentração, de modo a ser aplicada a menor dose. A água residuária quando aplicada apenas em termos de necessidade hídrica da cultura, pode provocar o acúmulo de sais no solo, de modo a comprometer não só a produtividade da cultura, mas também a qualidade do solo e águas subterrâneas (ERTHAL, 2010). Os teores de nitrogênio, salinidade, metais pesados e elementos fitotóxicos podem ser usados como referenciais.

Para determinação da taxa de aplicação de água residuária para fertirrigação é necessário quantificar a disponibilidade do nutriente no solo, a exigência da cultura e ainda a concentração do nutriente nos resíduos.

As doses de águas residuárias podem ser definidas baseando-se na concentração de nitrogênio presente, uma vez que este, geralmente, é o constituinte encontrado em maiores concentrações relativas nos efluentes provenientes da criação de animais (BATISTA *et. al.*, 2014). Levando em consideração o nitrogênio como nutriente de referência, a taxa de aplicação de água residuária em culturas agrícolas é dada pela equação I.

$$TA_{AR} = (N \text{ absorvido pela cultura} - N \text{ disponibilizado do solo}) / N \text{ disponibilizado pela água residuária} \quad (I)$$

A aplicação de água residuária deve levar em consideração o tipo de solo, tipo de cultura e o sistema de irrigação. O solo deve ser preferencialmente, argiloso ou de textura média, com permeabilidade de baixa a média, evitando assim, solos arenosos devido à facilidade de percolação de poluentes (MATOS, 2007).

Um dos maiores problemas da utilização de águas residuárias na agricultura é a possibilidade de contaminação do produto agrícola por microrganismos. Entretanto, se as técnicas de tratamento e manejo dessas águas forem adequadas, os riscos de contaminação microbiológica dos vegetais se tornam mínimos. Geralmente, as bactérias estão mais expostas a condições ambientais adversas, tais como elevada temperatura, baixa umidade relativa do ar e incidência de radiação, na superfície das culturas (BATISTA *et. al.*, 2014). Shuvai *et. al. apud* Matos (2007), apresenta o tempo de sobrevivência dos organismos patógenos no solo e plantas (Tabela 5).

Tabela 5 – Sobrevivência de patógenos no solo e plantas, sob temperatura ambiente entre 20° e 30°C.

Patógeno	Tempo de sobrevivência (dias)	
	Solo	Culturas agrícolas
Vírus		
<i>Enterovírus</i>	< 20	< 15
Bactéria		
Coliformes fecais	< 20	< 15
<i>Salmonella spp.</i>	< 20	< 15
<i>Shigella spp.</i>	-	< 5
<i>Vibrio cholerae</i>	< 10	< 2
Protozoários		
Cistos de <i>Entamoeba histolytica</i>	< 10	< 15
Helminto		
Ovos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	Muitos meses	Muitos meses

Fonte: Shuvai *et. al.* apud Matos, 2007.

Ainda neste contexto, Pereira *et. al.* (2014) mostraram que entre o décimo sexto e trigésimo segundo dia após a aplicação de esgoto sanitário no solo, houve grande remoção do grupo coliforme (na faixa de 2 a 4 unidades log), e ao final deste intervalo de tempo não foi observado presença de *E. coli*, mostrando com isso, que o solo pode ser considerado um meio capaz de inativar, com eficiência e rapidez, organismos patogênicos (PEREIRA *et. al.* 2014).

Matos (2007) recomenda, para aplicação de águas residuárias, culturas de rápido crescimento e grande capacidade de absorção de nitrogênio, como pastos e capineiras, assim como culturas perenes, tais como cafeeiro, laranjeira, entre outras. Tendo em vistas os vários sistemas, USEPA (1975) apud Matos (2007) apresenta que a partir do uso de esgoto doméstico para fertirrigar capins para forragem, por exemplo, estes apresentaram aumento de 300% a 400% na produção de matéria seca.

A época recomendada para aplicação de águas residuárias é o período de desenvolvimento da cultura, quando há maior necessidade de nutrientes, já no caso de culturas permanentes a aplicação pode ser subdividida durante o ano.

Esta aplicação pode ser feita por gotejamento (Figura 06a), aspersão (Figura 06b) e ainda via superfície.

Figura 8 – Exemplo de sistema de fertirrigação por gotejamento (a) e por aspersão (b).



Fonte: <http://www.google.com.br>

O gotejamento tem como restrição a presença de sólidos no efluente, os quais podem ocasionar obstrução dos orifícios, e com isso reduzir a uniformidade de aplicação da água residuária causando danos às plantas. A aspersão é a forma de aplicação de maior risco potencial de geração de odores e provocar dispersão de patógenos, sendo a utilização recomendada para culturas perenes e capineiras (MATOS, 2007).

3.5 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

A água, atualmente, é considerada fator limitante para o desenvolvimento agrícola, urbano e industrial, tendo em vista que a disponibilidade per capita de água doce vem sendo reduzida rapidamente, face ao aumento gradativo da demanda para seus múltiplos usos e à contínua poluição dos mananciais ainda disponíveis.

Em todos os segmentos da sociedade a água está presente, seja para uso doméstico, comercial, industrial, público ou agrícola (Figura 09). A maior parte da água doce do mundo é consumida na agricultura, responsável pela utilização de aproximadamente 70%, enquanto a indústria e o uso doméstico correspondem por cerca de 22% e 8%, respectivamente (ANA, 2009).

Figura 9 - Usos Múltiplos da água



Fonte: Gonçalves *et. al.* apud JÓ (2011)

O manejo e o aproveitamento da água de chuva vêm ganhando ênfase em várias partes do mundo, sendo considerado um meio simples e eficaz para se atenuar o grave problema ambiental da crescente escassez de água.

3.5.1 Visão Geral do Sistema

Segundo May (2004), o aproveitamento de água pluvial tem como vantagens a diminuição dos riscos de inundação e a redução do consumo de água potável em usos não nobres, como a lavagem de pisos e calçadas e a utilização em vasos sanitários.

O sistema de aproveitamento (Figura 10) de água de chuva consiste, de maneira geral, na coleta de água de áreas impermeáveis, normalmente telhados. Em seguida, é filtrada e armazenada em reservatório de acumulação, e posteriormente estas águas terão usos menos exigentes, como lavagem de pisos e veículos e irrigação de jardins (JÓ, 2011).

Figura 10 - Esquema simplificado de um sistema de aproveitamento de chuva



Fonte: <http://www.google.com.br>

3.5.2 Principais Componentes do Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial

Diversos autores consideram a área de coleta assim como a quantidade e qualidade da água a ser armazenada e a capacidade de armazenamento como parâmetros principais no sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva (MAY, 2004).

3.5.3 Área de Captação

Na maioria dos sistemas utilizados para a prática de armazenamento da água da chuva, são os telhados que realizam o trabalho de captação.

Dependendo do uso final da água coletada (Tabela 6) e do tratamento a ser aplicado, a coleta de água de chuva pode ser feita através de superfícies impermeabilizadas localizadas no nível do chão.

Tabela 6 - Variação da qualidade da água devido a área de captação

Grau de purificação	Área de coleta de chuva	Observações
A	Telhados (lugares não ocupados por pessoas e animais)	Se a água for purificada pode ser consumida
B	Telhados (lugares frequentados por pessoas e animais)	Usos não potáveis
C	Terraços e terrenos impermeabilizados, áreas de estacionamento.	Mesmo para usos não potáveis necessita tratamento
D	Estradas	Mesmo para usos não potáveis necessita tratamento

Fonte: Group Raindrops (2002) apud Silva (2007)

3.5.4 Calhas e Condutores

São necessárias calhas, as quais recebem e direcionam a água que escoar do telhado até os condutores verticais de águas pluviais. Podem ser, tanto calhas como condutores, de PVC ou metálicos.

3.5.5 Dispositivos de Segurança e Qualidade

Com o aumento nas taxas de contaminação do ar, é cada vez mais importante a necessidade da inserção de elementos de segurança nos sistemas de aproveitamento quanto à qualidade da água. Esses elementos não se restringem a remoção de poeira, galhos ou folhas, mas incorporam também equipamentos de descarte de água de primeira chuva, filtros e sistemas de desinfecção, tendo como plano de fundo a garantia sanitária, de forma a obter águas com qualidades adequadas aos usos pretendidos.

3.5.6 Reservatório

Os reservatórios são responsáveis pelos maiores investimentos de um sistema de captação de água da chuva. Para obter melhores resultados, referentes à eficiência de captação, é necessário escolher o melhor posicionamento do tanque no terreno, sua capacidade e o melhor material do reservatório.

Além disso, para um dimensionamento adequado do sistema, como um todo, deve-se conhecer os dados históricos do comportamento pluviométrico regional, a demanda de água exigida na propriedade, o potencial de captação existente, bem como a viabilidade da construção de estruturas para reserva e tratamento (SANTOS, 2015).

Elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) a NBR 15.527/2.007 fornece os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis e apresenta metodologias para dimensionamento do sistema, procedimentos de limpeza e conservação do mesmo.

A norma NBR 15.527, ainda, define padrões de qualidade da água captada e armazenada bem como os componentes do sistema e frequência de manutenção dos mesmos. Orienta, ainda que as instalações hidráulicas sejam totalmente independentes da água tratada e devem obedecer a ABNT NBR 5.626/1.998, sobre instalação predial de água fria.

O sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva, quando corretamente dimensionado e executado, propiciará a obtenção de água de qualidade adequada aos usos previstos, preservando os recursos hídricos e energéticos do meio.

A qualidade da água da chuva deve ser considerada em três momentos distintos em um sistema de aproveitamento de água da chuva: a chuva atmosférica, a chuva após passagem pela área de captação e no reservatório de armazenamento. Para cada nível, a qualidade estará associada a fatores ambientais como a localização geográfica (proximidade do oceano, áreas urbanas ou rurais), a presença de vegetação, as condições meteorológicas (intensidade, duração e tipo de chuva, regime de ventos), a estação do ano e a presença de carga poluidora, o tipo e condição da área de captação, material da cisterna e condições de manutenção desta última.

A ABNT NBR 15.527/2007 diz que os padrões de qualidade de água de chuva devem ser definidos de acordo com o uso, porém para usos mais restritos não potáveis esta apresenta limites para alguns parâmetros de qualidade da água, conforme apresentado na tabela 7. Esta mesma norma ainda dispõe sobre a necessidade de desinfecção no sistema.

Tabela 7 - Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 ml
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 ml
Cloro residual livre ¹	Mensal	0,5 a 3 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT, para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente	Mensal	< 15 uH
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 para tubulações de aço carbono ou galvanizado
NOTA Podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.		
¹ No caso de serem utilizados composto de cloro para desinfecção		

Fonte: ABNT NBR 15527/2007

Na ausência de uma legislação específica para o aproveitamento da água da chuva para fins potáveis, de maneira a estabelecer os padrões de qualidade que esta água deva atender em função dos diferentes usos, torna-se necessário adotar, mesmo em caráter temporário, a legislação disponível atualmente (JÓ, 2011). A legislação federal brasileira estabelece padrões de qualidade para a água tratada e destinada ao consumo humano, através da Portaria N° 2.914 do Ministério da Saúde, a qual regulamenta os padrões de potabilidade para água de consumo humano. Outro instrumento legal o qual pode servir de base para esta avaliação é a Resolução CONAMA N° 357/2005, que estabelece os padrões de qualidade para corpos d'água.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho foi o Sítio Santa Cruz, localizado no município de Santa Bárbara do Monte Verde, a cerca de 60 quilômetros da cidade de Juiz de Fora, sudeste do estado de Minas Gerais, na latitude 21°57'20.44" sul e longitude 43°41'36.54" oeste. (Figura 11).

Figura 11 - Imagem de satélite da localização da propriedade.



Fonte: Google Earth. Acesso em 10/02/2016.

A principal atividade da propriedade é a bovinocultura leiteira no sistema semi-extensivo, dispendo de 60 cabeças de bovinos, sendo 30 vacas em lactação, dois machos adultos e 28 variando entre bezerros, bezerras e novilhas. Com este movimento a propriedade produz aproximadamente 200L. dia⁻¹ de leite em duas ordenhas, uma pela manhã e outra no período da tarde.

A instalação de bovinocultura é dividida em quatro áreas sendo, a sala de ordenha (Figura 12a), um curral de espera (Figura 12b), o bezerreiro (Figura 12 d), o qual é subdividido em três currais menores, e uma área anexa (Figura 12c) utilizada para trato dos animais.

Figura 12 – Instalações da propriedade: (a) Sala de Ordenha, (b) Curral de Espera, (c) Área de trato dos animais e (d) bezerreiro.



Fonte: Arquivo Pessoal

Na sala de ordenha ocorre a ordenha dos animais duas vezes ao dia, em dois horários estabelecidos (6h e 14h), todos os dias da semana. Anteriormente à ordenha dos animais, estes são conduzidos para a área anexa onde é realizada a alimentação dos mesmos, em ambas as ordenhas já que os animais passam a noite soltos a campo e após a primeira ordenha voltam a pasto.

A propriedade ainda possui uma capineira (Figura 13), com capim Cameron, de área aproximada de 3.307 m², e ainda quatro piquetes (P1, P2, P3 e P4 – Figura 13), com capim Brachiaria, com área aproximada de 1.734 m².

Figura 13 - Demarcação da capineira e dos piquetes (P1, P2, P3 e P4).



Fonte: Adaptado de Google Earth. Acesso em 02/03/2016.

4.2 DESCRIÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA GASTO NA BOVINOCULTURA

Toda a água que é consumida na propriedade é proveniente de uma represa (Figura 14a) localizada em uma topografia mais elevada em relação às demais benfeitorias existentes. A partir dessa, a água destinada às instalações da bovinocultura segue até uma caixa feita em alvenaria (Figura 14b), onde é armazenada e depois levada até o curral, sendo distribuída entre os bebedouros (Figura 14c) para dessedentação animal e ainda para a torneira de onde é retirada a água para a limpeza através de mangueira.

Figura 14 - (a) Represa que fornece água para as instalações de bovinocultura; (b) Caixa de água onde é armazenada a água antes do uso e (c) Bebedouro para dessedentação dos animais.



(a)



(c)



(b)

Fonte: Arquivo Pessoal

A vazão utilizada na limpeza foi calculada através do método volumétrico, o qual consistiu em marcar o tempo necessário para encher um determinado recipiente de volume previamente conhecido.

Para cálculo da vazão foi utilizada a equação (II)

$$Q = \frac{V}{T} \quad (\text{II})$$

Onde,

$Q = \text{Vazão (L. s}^{-1}\text{)}$;

$V = \text{Volume (L) e}$

$T = \text{Tempo (s)}$

Foi usado um balde com volume pré-determinado de 3,5 litros e determinado um tempo médio de 3,5 segundos, sendo calculada uma vazão de 1 L. s^{-1} .

Foi medido cinco vezes o tempo de lavagem para cada uma das áreas que compõe as instalações da bovinocultura leiteira da propriedade, de modo a calcular o tempo médio de lavagem para cada uma delas e assim determinar o volume utilizado, considerando-se uma vazão de 1 L. s^{-1} (Tabela 8).

Tabela 8 - Relação entre tempo médio de lavagem e volume de água utilizado por dia em cada instalação.

Instalação a ser lavada	Tempo médio de Lavagem (min.)	Número de lavagens ao dia	Volume (Litros)
Área de trato	12	1	720
Bezerreiros*	30	1	1800
Curral de Espera	7	1	420
Sala de Ordenha	10	2	1200
Volume Total	-	-	4140

* Foi calculado já o tempo médio de lavagem total para os três bezerreiros existentes.

4.3 DESCRIÇÃO DO ATUAL MANEJO DOS RESÍDUOS

Após a rotina de alimentação e ordenha dos animais (duas vezes ao dia) ocorre a lavagem da sala de ordenha, onde todo o efluente produzido é coletado por pequenos canais até caixas de passagem, conforme Figura 15. A partir dessas caixas o efluente é transportado por gravidade através de tubos até o corpo hídrico próximo à propriedade, sem nenhum tratamento. Vale ressaltar que, ainda é realizada a limpeza dos bezerreiros, do curral de espera e da área de trato todos os dias, apenas após a segunda ordenha, e este efluente produzido também é conduzido da mesma forma até o curso d'água.

A lavagem das instalações é realizada utilizando apenas água sem que haja uma raspagem precedente dos resíduos, fazendo com que o efluente gerado contenha partes sólidas e líquidas.

Figura 15 - Coletores do tipo canaleta através dos quais os efluentes são direcionados até pequenas caixas e dessas até o corpo hídrico



Fonte: Arquivo Pessoal

O efluente produzido nas instalações de bovinocultura leiteira é basicamente composto por água de lavagem, detergentes utilizados na limpeza da sala de ordenha e utensílios, restos de leite, sedimentos trazidos pelos animais, células mortas e pêlos, restos de ração e dejetos como fezes e urina.

A composição de tal efluente está diretamente relacionada com as atividades de produção de leite desempenhada diariamente na propriedade.

4.4 DESCRIÇÃO DA PROPOSTA

4.4.1 *Dimensionamento do Aproveitamento da Água Da Chuva*

A bovinocultura de leite é uma atividade que requer elevada quantidade de água, seja para a dessedentação animal quanto na limpeza das instalações e utensílios. Aliado a este fato, a propriedade em estudo possui em torno de 690 m² (Tabela 9) de coberturas em suas instalações, sendo feitas em telhas de zinco e amianto (Figura 16), dispostas conforme Figura 17.

Tabela 9 - Dados das áreas de captação de água pluvial

Instalação	Largura (m)	Comprimento* (m)	Área (m ²)
Garagem (A1)	8	16	128
Área de Trato (A2)	7,5	16	120
Galpão de ração (A3)	7	12	84
Sala de ordenha e tanque de resfriamento (A4)	9	11	99
Brete, escritório e depósito (A5)	9	13	117
Bezerreiros (A6)	9	16	144
Área Total	-	-	692

Fonte: Dados fornecidos pelo proprietário

* Tal dimensão é o somatório das duas águas do telhado.

O aproveitamento de água pluvial é uma forma de preservar os recursos naturais restantes no meio ambiente e também ajuda a conter possíveis alagamentos e erosões devido ao escoamento desta.

Figura 16 - Vista do Sítio Santa Cruz mostrando os telhados existentes na propriedade



Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 17 - Localização das instalações



Fonte: Adaptado de Google Earth. Acesso em: 10/02/2016.

A água de chuva coletada nos telhados será armazenada e utilizada apenas para a limpeza das instalações, pois não será realizado nenhum tipo de tratamento nesta a fim de torná-la própria para dessedentação dos animais.

Para o dimensionamento do reservatório e das estruturas auxiliares (calhas e tubulações) foram utilizados dados da estação pluviométrica localizada próxima ao distrito de Torreões, na sub-bacia do Rio Paraíba do Sul, a aproximadamente 30 quilômetros do Sítio Santa Cruz. A estação pluviométrica de Torreões foi escolhida por ser a mais próxima em funcionamento da região de estudo. As séries históricas foram obtidas através do Sistema Hidroweb da Agência Nacional de Águas, ANA. Para efetuação dos cálculos foram utilizadas as médias mensais (Tabela 10) entre os anos de 1965 a 2015.

Tabela 10 - Precipitação média (Anos 1965 a 2015)

MÊS	PRECIPITAÇÃO (mm)
JAN	312,5
FEV	191,6
MAR	211,1
ABR	96,1
MAI	40,3
JUN	19,6
JUL	24,2
AGO	19,0
SET	51,9
OUT	114,2
NOV	207,3
DEZ	294,6

Fonte: Adaptado de Hidroweb ANA. Acesso em 13/01/2016.

O sistema de aproveitamento de chuva teve suas dimensões determinadas segundo recomendações da ABNT NBR 15.527/2007, que apresenta uma equação (Equação III) para a determinação do volume de água de chuva aproveitável.

$$V = P \times A \times C \times \eta \quad \text{(III)}$$

Onde,

V = volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável (Litros);

P = precipitação média anual, mensal ou diária (mm);

A = área de coleta (m²);

C = coeficiente de escoamento superficial da cobertura

η = fator de eficiência do sistema de captação, levando em consideração o dispositivo de descarte de sólidos e desvio de escoamento inicial, caso este último seja utilizado.

Segundo Tomaz (2011), o coeficiente de escoamento superficial para telhados varia de 0,8 a 0,95 dependendo do material da constituição do mesmo. O autor, ainda recomenda adotar para o conjunto $C \times \eta$ um valor igual a 0,80.

O reservatório tem seu dimensionamento dependente da demanda de água, área de captação, custo de implantação e manutenção e os índices pluviométricos da região a ser implantado o sistema.

No presente trabalho o reservatório de acumulação foi dimensionado seguindo critérios estabelecidos pelo Anexo A da ABNT NBR 15.527/2007, pelo método da simulação. Este consiste na fixação de um volume para o reservatório e posterior verificação da eficiência do mesmo. Tal processo foi repetido para várias dimensões de reservatório para posterior definição, de acordo com a eficiência de cada um.

Na figura 18 apresenta-se um exemplo da tabela gerada pelo método da simulação, no qual apresenta a demanda mensal, o volume de chuva, o possível volume do reservatório e ainda a porcentagem e volume a ser economizados mensal e anualmente.

Figura 18 - Exemplo da tabela gerada a partir do método da simulação para determinação do melhor volume de reservatório

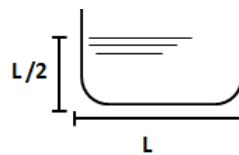
MÊS	CHUVA MÉDIA (mm)	DEMANDA MENSAL constante (m³)	VOLUME DE CHUVA (m³)	VOLUME DO RESERVATÓRIO fixo (m³)	ÁGUA NO RESERVATÓRIO NO TEMPO t-1 (m³)	DELTA - VOLUME NO RESERVATÓRIO NO TEMPO t (m³)	OVERFLOW (m³)	SUPRIMENTO DE ÁGUA EXTERNA (m³)	ECONOMIA (m³)
JAN	312,5	124,2	173,0	5,0	0,0	5,0	43,8	0,0	124,2
FEV	191,6	124,2	106,1	5,0	5,0	-13,1	0,0	13,1	111,1
MAR	211,1	124,2	116,9	5,0	0,0	-7,3	0,0	7,3	116,9
ABR	96,1	124,2	53,2	5,0	0,0	-71,0	0,0	71,0	53,2
MAI	40,3	124,2	22,3	5,0	0,0	-101,9	0,0	101,9	22,3
JUN	19,6	124,2	10,8	5,0	0,0	-113,4	0,0	113,4	10,8
JUL	24,2	124,2	13,4	5,0	0,0	-110,8	0,0	110,8	13,4
AGO	19,0	124,2	10,5	5,0	0,0	-113,7	0,0	113,7	10,5
SET	51,9	124,2	28,7	5,0	0,0	-95,5	0,0	95,5	28,7
OUT	114,2	124,2	63,2	5,0	0,0	-61,0	0,0	61,0	63,2
NOV	207,3	124,2	114,8	5,0	0,0	-9,4	0,0	9,4	114,8
DEZ	294,6	124,2	163,1	5,0	0,0	5,0	33,9	0,0	124,2
TOTAL:	1582,5	1490,4	876,1	-	-	-	77,7	697,0	793,4
		Porcentagem a ser economizada		53%					

Fonte: Autora

Para a determinação das dimensões das calhas e condutores a serem utilizados foi utilizada a declividade mínima recomendada de 0,5% (NBR 10.844/1989). De acordo com Netto e Melo (1988) *apud* Tomaz (2011), a largura mínima para uma calha retangular (Figura 19) é baseada

no comprimento do telhado. Enquanto que para os condutores verticais de seção circular, Tomaz (2011) apresenta dois critérios práticos, que relacionam a área do telhado com o diâmetro nominal do condutor. Sendo que o Critério Prático Norte Americano considera chuvas de 200 mm. h^{-1} e o critério apresentado por Garcez, chuvas de 150 mm. h^{-1} . Neste trabalho foram utilizados os dois critérios para o dimensionamento do condutor, adotando aquele que resultar no maior diâmetro.

Figura 19 - Esquema de calha retangular para captação de águas de chuva em telhado



Fonte: Autora

4.4.2 Dimensionamento do Sistema de Tratamento - Biodigestor

Como forma de tratamento do efluente produzido nas instalações de bovinocultura da propriedade em estudo será adotado o biodigestor tipo canadense de fluxo contínuo, uma vez que este apresenta facilidade de instalação e operação, além de baixos custos. O dimensionamento foi baseado naquele apresentado por EMBRAPA (2008), conforme apresentado na equação IV:

$$V = \text{TRH} \times Q \quad (\text{IV})$$

Onde,

V = Volume da câmara de digestão (m³);

TRH = tempo de retenção hidráulica (dia) e

Q = vazão diária de dejetos que irá alimentar o biodigestor (m³ dia⁻¹).

Foi considerada como vazão afluyente ao biodigestor 80% da água consumida nas instalações, de acordo com dados da Tabela 05, apresentada anteriormente. Tal porcentagem foi adotada por ser usualmente utilizada no cálculo de vazão de esgoto sanitário. Sendo assim, neste projeto usou-se a vazão média de $3,25 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ e o TRH igual a 40 dias, conforme faixa recomendada por EMBRAPA, 2008.

Ressalta-se a necessidade de dimensionamento e instalação de um sistema preliminar, constituído de: grade, peneira e desarenador, de modo a proteger o sistema de biodigestão e não alterar sua eficiência.

4.4.3 Determinação da Fertirrigação

O biofertilizante produzido pelo biodigestor será aplicado na capineira e nos piquetes como fonte de adubação nitrogenada. Para o cálculo da lâmina será utilizada a equação apresentada por Matos (2007), Equação V. Os valores de entrada para a determinação da lâmina de fertirrigação estão apresentados na Tabela 11.

$$TA_{AR} = 1000 \frac{[N_{abs} - (T_{m1} MO \rho_s p 10^7 0,05 \frac{n}{12})]}{[T_{m2} N_{org} + (N_{amoniacal} + N_{nitrito}) TR]} \quad (V)$$

em que,

TA_{AR} - lâmina de aplicação ($m^3 ha^{-1}$);

N_{abs} - absorção de nitrogênio pela cultura para a obtenção da produtividade desejada ($kg ha^{-1}$);

T_{m1} - taxa anual de mineralização da matéria orgânica anteriormente existente no solo ($kg kg^{-1} ano^{-1}$);

MO - conteúdo de matéria orgânica do solo ($kg kg^{-1}$);

ρ_s - massa específica do solo ($t m^{-3}$);

p - profundidade de solo considerada (m);

n - número de meses de cultivo da cultura;

T_{m2} - taxa anual de mineralização do nitrogênio orgânico ($kg kg^{-1} ano^{-1}$);

N_{org} - nitrogênio orgânico disponibilizado pelo resíduo aplicado ($mg L^{-1}$);

$N_{amoniacal}$ - nitrogênio amoniacal disponibilizado pelo resíduo aplicado ($mg L^{-1}$);

$N_{nitrito}$ - nitrogênio nítrico disponibilizado pelo resíduo aplicado ($mg L^{-1}$), e;

TR - taxa de recuperação do nitrogênio mineral pela cultura ($\text{kg kg}^{-1} \text{ano}^{-1}$).

Tabela 11 - Valores utilizados no cálculo da lâmina de fertirrigação

Parâmetro	Valor	Fonte
N_{abs}	225 $\text{kg ha}^{-1} *$	COSTA, OLIVEIRA FAQUIN, 2006
T_{m1}	0,01 $\text{kg kg}^{-1} \text{ano}^{-1}$	MATOS, 2007
MO	0,02 kg kg^{-1}	Adotado
ρ_s	1,2 t m^3	Adotado
P	0,2 m	Adotado
N	12 meses	Adotado
T_{m2}	0,5 $\text{kg kg}^{-1} \text{ano}^{-1}$	MATOS, 2007
N_{org}	22,46 mg litro^{-1}	MENDONÇA et. al., 2015
$N_{\text{amoniacal}}$	29,13 mg litro^{-1}	MENDONÇA et. al., 2015
N_{nitrito}	42,58 mg litro^{-1}	MENDONÇA et. al., 2015
PR	0,7	MATOS, 2007

Os valores adotados de N_{org} , $N_{\text{amoniacal}}$ e N_{nitrito} foram obtidos de MENDONÇA et. al. (2015), uma vez que estes trabalharam com biofertilizante produzido a partir de um biodigestor alimentado por efluente de bovinocultura leiteira.

Vale ressaltar que o valor de Nitrogênio absorvido (N_{abs}) foi utilizado baseado no cálculo da média dos valores para capim Cameron e Brachiaria, uma vez que o biofertilizante produzido poderá ser utilizado para ambos.

Para a determinação do manejo de aplicação do biofertilizante foi considerado a produção do biofertilizante, a área da capineira e a lâmina de fertirrigação determinada.

5 RESULTADOS

5.1 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

A partir do disposto na ABNT NBR 15.527/2007, Equação III, e das médias pluviométricas mensais (Tabela 10) foi calculado o volume de chuva aproveitável, apresentado na Tabela 12:

Tabela 12 - Volume de chuva aproveitável ao longo do ano

Mês	Volume de Chuva (m ³)
JAN	173,0
FEV	106,1
MAR	116,9
ABR	53,2
MAI	22,4
JUN	10,8
JUL	13,4
AGO	10,5
SET	28,7
OUT	63,2
NOV	114,8
DEZ	163,1

Fonte: Autora

A demanda de água utilizada para o dimensionamento do reservatório foi baseada no volume de água utilizado na propriedade para um mês, sendo esta de 124,2 m³ mês⁻¹. Este volume foi obtido considerando uma demanda diária de 4,14 m³, conforme apresentado na Tabela 5.

Pelo método da simulação, foram testados volumes de reservatório variando entre 1 e 20 m³, e a partir daí calculou-se as porcentagens de economia de água proveniente de captação externa anual para cada um. Levando em consideração a precipitação média e a demanda da propriedade, não houve uma variação significativa na economia de água captada, quando simulado com reservatórios de 1 e 20 m³. A economia de água para um reservatório de 1 m³ é de 53%, enquanto que para um de 20m³ é de 54%. Portanto, recomenda-se um reservatório de 1m³.

O método nos mostra que o dimensionamento do reservatório deve levar em consideração fatores econômicos, visto que a aumento do mesmo não tem relação diretamente proporcional à eficiência do sistema.

Uma vez que o reservatório sugerido é pequeno volume (1m^3), recomenda-se que este seja feito considerando-se um modelo de caixa d'água (Figura 20a) ou cisterna (Figura 20b). Ressalta-se que a caixa d'água pode ser instalada sobre o solo em superfície plana, enquanto a cisterna pode ser enterrada. Outra diferença são os custos, a caixa d'água em polietileno custa em média R\$ 420,00/ m^3 e a cisterna, do mesmo material e fabricante, R\$ 820,00/ m^3 (C & C – Casa & Construção).

Figura 20 - Modelos de caixa d'água (a) e cisterna (b)



Fonte: <http://www.google.com.br>

Quanto à escolha em relação ao tipo de reservatório, caixa d'água ou cisterna, dependerá do local a ser instalado.

Considerando as metodologias apresentadas, foi adotada uma largura mínima para as calhas retangulares de 0,15 m. Enquanto que para os condutores verticais de seção circular, o diâmetro admitido, por ambos os critérios apresentados, foi de 75 mm.

Algumas recomendações são necessárias com relação ao armazenamento e uso de águas pluviais, principalmente no que diz respeito ao reservatório e tubulações (NBR 15.527/2007):

- Os reservatórios devem ser limpos e desinfetados com solução de hipoclorito de sódio, no mínimo uma vez ao ano (NBR 5.626/1998), uma vez que a presença de cloro residual na água é recomendada;

- A água de chuva armazenada deve ser protegida contra incidência de luz e calor, e ainda contra animais que possam entrar pelas tubulações até o reservatório;
- Os pontos de consumo, como torneiras, por exemplo, devem ser de uso restrito e identificado com placas de advertência, com frases como “não beber”, “água não potável”.
- O sistema de aproveitamento de chuva deve passar por manutenção, de acordo com a Tabela 13:

Tabela 13 - Frequência de manutenção

Componente	Frequência de manutenção
Dispositivo de descarte de detritos	Inspeção mensal
	Limpeza trimestral
Dispositivo de descarte de escoamento inicial	Limpeza mensal
Calhas, condutores verticais e horizontais	Semestral
Dispositivos de desinfecção	Mensal
Bombas	Mensal
Reservatório	Limpeza e desinfecção anual

Fonte: ABNT NBR 15.527, 2007

Outro ponto importante com relação ao aproveitamento de água de chuva é o descarte da primeira chuva. Água proveniente da área de captação pode carregar consigo poeiras, fuligem, folhas, galhos e detritos, por isso, é recomendado que esta primeira água seja descartada (TOMAZ, 2007). Ressalta-se que o descarte dessa primeira água pode também levar junto consigo fezes e urina de pequenos animais transmissores de doenças.

5.2 SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE – BIODIGESTOR

A primeira etapa de análise da viabilidade de uma tecnologia de tratamento de dejetos é a determinação do seu volume. Posteriormente, devem ser analisados os custos de implantação e a sua operação perante o retorno socioambiental e econômico que a instalação acarretará (Instituto Winrock, 2008).

Com base nos dados apresentados nesse estudo foi dimensionado um biodigestor modelo canadense para o tratamento de dejetos produzidos nas instalações de bovinocultura da propriedade descrita anteriormente.

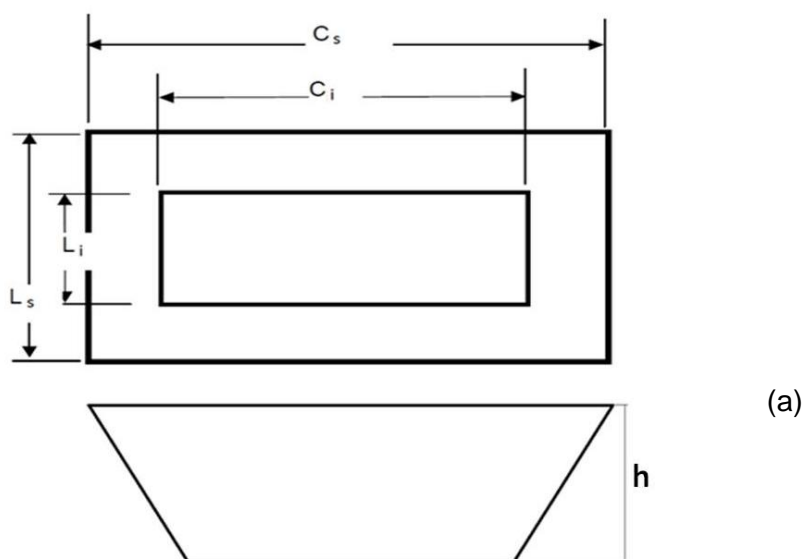
Considerando a equação apresentada por EMBRAPA (2008) obteve-se um biodigestor com volume de 130 m³, o qual deverá ser construído em formato trapezoidal, com as dimensões apresentada na Tabela 14, considerando a planta e perfil para escavação, segundo Figura 21.

Tabela 14 - Dimensões do biodigestor

	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)
Superior	13 (Cs)	7,5 (Ls)	1,7 (h)
Inferior	11 (Ci)	5,5 (Li)	

Fonte: Autora

Figura 21 - (a) Planta esquemática superior do biodigestor; (b) Perfil esquemático do biodigestor mostrando altura.



Fonte: Autora

Na Figura 21: Cs – comprimento superior; Ci - comprimento inferior, Ls – largura superior; Li – largura inferior e h – altura.

Para determinar o local de instalação do biodigestor deve-se levar em consideração o acesso ao local de acúmulo de esterco e acesso aos locais de aplicação do biofertilizante. Se possível, deve-se aproveitar a declividade natural do terreno a fim de facilitar a carga e a descarga do

biodigestor, este deve ser instalado afastado de árvores, pois as raízes, com o tempo poderão crescer e furar o biodigestor. Recomenda-se ainda manter uma distância segura entre o biodigestor e demais edificações.

Sugere-se que o biodigestor seja instalado conforme apresentado na Figura 22, local este situado a cerca de 30 metros das instalações da propriedade.

Figura 22 - Localização recomendada para instalação do biodigestor



Fonte: Fonte: Adaptado de Google Earth. Acesso em: 07/03/2016.

Apresenta-se abaixo as etapas de construção/instalação do biodigestor (Instituto Winrock, 2008):

- i. Escavar um buraco no solo considerando as medidas apresentadas anteriormente (Tabela 11);
- ii. Escavar um buraco menor, na saída do biodigestor, para acomodar caixa de saída de biofertilizante, a qual pode ser feita em alvenaria ou fibra, com o triplo do volume de carga diária, ou seja, 10 m³;
- iii. Abrir manta plástica de PEAD sobre o primeiro buraco (recomenda-se 0,8mm);
- iv. Colocar tubos (recomenda-se tubulação de PVC 150 mm para esgoto) para entrada dos dejetos e saída do biofertilizante, e colar mangas da manta superior (recomenda-se 1 mm) no biodigestor;

- v. Fixar o perímetro da manta plástica, enterrando-o;
- vi. Instalar tubulação (recomenda-se tubos e conexões de PVC 40 mm para água) de biogás;
- vii. Iniciar carga.

Anterior ao biodigestor deverá ser construída uma caixa de entrada, podendo ser um tonel de plástico ou tanque de alvenaria, com a capacidade de armazenar o volume de carga diária, ou seja, 3,3 m³.

Proporcionalmente, o maior custo do biodigestor é a aquisição da manta plástica para revestimento do tanque e gasômetro. Seu preço depende da área total, sendo em média R\$ 15,00 o metro quadrado de lona de PEAD (MF Rural).

5.3 LÂMINA DE FERTIRRIGAÇÃO

A partir da equação apresentada por Matos (2007) foi possível obter uma lâmina de fertirrigação igual a 329 mm, que representa 3.290 m³ ha⁻¹ ao ano. Considerando que o volume anual de biofertilizante produzido pelo sistema de biodigestão será de 1.204,5 m³, o produtor poderá dispor este efluente em uma área de 3.660 m². Ressalta-se que a propriedade dispõe de aproximadamente 3.307 m² de capineira onde poderá aplicar tal efluente de maneira ambientalmente correta. A aplicação do biofertilizante poderá ser feita através de aspersores.

Diariamente, serão produzidos 3.312 litros de efluente o que corresponde a uma área de 10,1 m² a ser fertirrigada. Sendo a área total da capineira de 3.307 m² e o volume da caixa de saída do sistema de biodigestão o triplo da produção diária, o produtor poderá fazer uma aplicação de biofertilizante a cada três dias, em uma área de 30,2 m². Logo, a capineira deverá ser subdividida em 110 menores áreas, de modo que cada uma seja fertirrigada e só volte a receber o biofertilizante após 328 dias. No entanto, recomenda-se a realização de um teste de infiltração, a fim de avaliar o risco de escoamento superficial.

No que diz respeito aos aspectos sanitários, Amaral *et. al.* (2004) afirmam que a digestão anaeróbia é capaz de reduzir significativamente os coliformes totais. Os mesmos autores ressaltam a eficiência de remoção de ovos de helmintos parasitas de ruminantes após tratamento por digestão anaeróbia. Ainda neste contexto, Pereira *et. al.* (2014) mostraram que entre o décimo sexto e trigésimo segundo dia após a aplicação de esgoto sanitário no solo, houve grande remoção do grupo coliforme (na faixa de 2 a 4 unidades log), e ao final deste intervalo de tempo não foi observado a presença de *E. coli*. Assim observa-se que o solo pode

ser considerado um meio capaz de inativar, com eficiência e rapidez, organismos patogênicos (PEREIRA *et. al.* 2014).

Diante do exposto e levando em consideração o intervalo de corte do capim Cameron, que pode ser realizado num intervalo de 40 a 80 dias (AZEVEDO, CAMARÃO e VEIGA, 2005; LEITE, QUEIROZ FILHO e SILVA, 2000), a metodologia de manejo para aplicação do biofertilizante não acarretará potenciais riscos à saúde humana e dos animais, uma vez que após o primeiro corte e a aplicação, a área ficará isolada por no mínimo 40 dias até que o trabalhador retorne para novo corte, tempo hábil para decaimento dos microrganismos. Adicionalmente, recomenda-se a utilização de equipamentos de proteção individual, a fim de reduzir os riscos de contaminação.

Avaliando a utilização do biofertilizante em termos de ganho ambiental, devido a redução da carga orgânica, considerando que uma pessoa elimina em média 54 g DBO₅. dia⁻¹ (VON SPERLING, 2005), e o equivalente populacional de uma vaca leiteira pode variar de 16 a 38 pessoas (MATOS, 2005), na propriedade em estudo deixarão de ser lançados no corpo hídrico cerca de 1458 g DBO₅. dia⁻¹ por animal.

6 CONCLUSÃO

Entende-se que os resultados obtidos são de grande importância na orientação de implantação de um projeto de tratamento e aproveitamento de resíduos e de uso da água da chuva, para pequenas propriedades rurais da Zona da Mata Mineira. Embora tenha sido realizado para uma propriedade específica, acredita-se que este trabalho possa servir de modelo/referencial para outros produtores que desejam adequar suas propriedades à legislação ambiental e conseqüentemente promover melhorias na qualidade do meio físico ambiental, além de gerar uma economia de água.

Diante do exposto sugere-se:

- implantação de um sistema de aproveitamento de água da chuva com um reservatório de 1 m³, calhas retangulares de 0,15 m de largura e condutores verticais de 75 mm de diâmetro;
- construção de um biodigestor modelo canadense com um volume de 130 m³;
- utilização do biofertilizante como fonte de adubação nitrogenada para a capineira, considerando uma lâmina de 329 mm ao ano;
- instalação de um manejo de aplicação do biofertilizante, aplicando-se 10m³ em cada área de 30 m², a cada três dias.

7 RECOMENDAÇÕES

- Deverá ser realizado o dimensionamento do sistema preliminar de tratamento de efluentes;
- Realizar um dimensionamento mais detalhado do sistema de biodigestão;
- Realizar a caracterização dos efluentes provenientes das diferentes etapas de tratamento;
- Realizar orçamento detalhado de ambos os sistemas propostos;
- Para o aproveitamento de água de chuva, determinar o reservatório de descarte da primeira chuva;
- Para aplicação do biofertilizante, utilizar equipamento de proteção individual;
- Realizar um teste de infiltração no local de aplicação do biofertilizante de modo a avaliar o risco de escoamento superficial;
- Realizar anualmente coleta de solo do local de aplicação da lâmina de fertirrigação de modo a compará-la com a Resolução CONAMA 420/2009;

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais.** 1989.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.527: Esta Norma fornece os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.** 2007

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626: Instalação predial de água fria.** 1998

AGEITEC, Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj06suh302wyiv802hvm3ja3fm10a.html>>. Acesso em: 24/02/2016.

AIRES, Allan W. et. al. Avaliação do Desempenho de um Biodigestor Canadense Modificado no Tratamento de Dejetos de Suínos. **Engevista**, v. 16, n. 4, p.329-338, dez. 2014.

AMARAL, C.M.C. do et. al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p.1897-1902, Nov e Dez. 2004.

ANA, Agência Nacional de Águas. Fatos e tendências: água. Brasília, setembro de 2009.

AZEVEDO, G.P.C; CAMARÃO A.P.; VEIGA, J.B. de. Criação de Gado Leiteiro na Zona Bragantina. EMBRAPA, dez. 2005.

BARROS, F. M. et. al. Características químicas do solo influenciadas pela adição de água residuária da suinocultura. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 47-51, 2005. Suplemento.

BATISTA, R. O. et. al. **Manejo de Águas Residuárias da Bovinocultura de Leite para uso em Cultivo de Plantas.** 100. ed. Lavras: Editora UFLA, 2014. 29 f.

BERTONCINI, E. I.. Tratamento de Efluentes e Reuso da Água no Meio Agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, São Paulo, p.152-169, jun. 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n°.2914 de 2011. Brasília, DF. Ministério da Saúde, 2011.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357, de 18 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

BRASIL. **Plano Mais Pecuária**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2014.

BRASIL. **Resolução Conselho Nacional de Recursos Hídricos nº 54**, de 28 de novembro de 2005 - Estabelece critérios gerais para reuso de água potável. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília – DF, novembro de 2005.

BRASIL. **Resolução Conselho Nacional de Recursos Hídricos nº 121**, de 16 de dezembro de 2010 - *Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reuso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005*. Diário Oficial da União, Brasília – DF, dezembro de 2010.

C & C – Casa e Construção. Disponível em: < <http://www.cec.com.br/material-hidraulico/caixas-d-agua?page=3>>. Acesso em: 06/03/2016.

CAMPOS, A. T. **Análise da variabilidade da reciclagem de dejetos de bovinos com tratamento biológico, em sistemas intensivos de produção de leite**. 1997.141 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus de Botucatu. Botucatu - SP, 1997

CAMPOS, A. T. **Importância da Água para Bovinos de Leite**. Juiz de Fora: EMBRAPA Gado de Leite, 2001. Disponível em: < http://www.cnp.gl.embrapa.br/totem/conteudo/Alimentacao_e_manejo_animal/Pasta_do_Produutor/31_Importancia_da_agua_para_bovinos_de_leite.pdf >.

CAMPOS, A. T. et. al. Tratamento biológico aeróbio e reciclagem de dejetos de bovinos em sistema intensivo de produção de leite. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 2, p. 426-438, mar./abr. 2002.

CASTANHO, D. S.; ARRUDA, H. J. de. BIODIGESTORES. In: VI SEMANA DE TECNOLOGIA EM ALIMENTOS, 2008, Ponta Grossa: **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, 2008. v. 02.

COPAM/CERH-MG nº 01/2008 Disponível em< <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>.

COSTA, OLIVEIRA FAQUIN, **Adubação Nitrogenada para Pastagens do Gênero *Brachiaria* em Solos do Cerrado**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2006.

DANIEL, T; da R;. **Avaliação dos afluentes e efluentes em sistemas de biodigestores em escala real para a produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos da pecuária**

leiteira. 2015. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2015.

DECEZARO, S. T. **Tratamento de Águas Residuárias de Bovinocultura de Leite no Brasil – Situação Atual e Possibilidades**. 2013. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2013.

EMBRAPA. **Uso de Biodigestores para Tratamento de Resíduos Animais**. Junho de 2008.

ERTHAL, V. J. T. **Fertirrigação de capim-Tifton 85 e aveia preta com águas residuárias de bovinocultura: Efeitos no solo e nas plantas**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Viçosa, 2008.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; PEREIRA, O. G.; MATOS, A. T. de. Características fisiológicas, nutricionais e rendimento de forrageiras fertirrigadas com água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14, n.5, p. 458-466. Campina Grande, 2010

ERTHAL, V. J. T. et. al. **Alterações físicas e químicas de um argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura**. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 467-477, maio 2010.

GOOGLE EARTH, consultado em 10 de fevereiro de 2016.

GOOGLE EARTH, consultado em 02 de março de 2016.

GOOGLE EARTH, consultado em 07 de março de 2016.

HIDROWEB ANA – Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>>. Acesso em: 13 de janeiro de 2016.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/brasil_2006/Brasil_censoagro2006.pdf>.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Pecuária Municipal**. v. 41. Brasil, 2013. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Producao_da_Pecuaria_Municipal/2013/ppm2013.pdf>.

JÓ, A. C. **Balanco hídrico e energético de um sistema predial de aproveitamento de água de chuva**. 2011. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campina, 2011.

JOHANN, A. da S. T. **Desenvolvimento de tecnologia alternativa para tratamento de efluente de limpeza dos currais de gado leiteiro**. Dissertação (Mestrado) – Programa de

Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Toledo, 2010.

JORDÃO, E. P. e PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 7ª Edição. Rio de Janeiro: ABES, 2014.

LEITE, R. M. B.; QUEIROZ FILHO, J. L. de; SILVA, D. S. da. Produção e valor nutritivo do capim elefante cultivar Cameroon em diferentes idades. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 21, n. 1, p.30-39, fev. 2000.

MATOS, A. T. **Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais**. Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental / UFV. Fundação Estadual do Meio Ambiente. 2005.

MATOS, A. T. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa: AEAGRI, 2007. 142 p. (Caderno Didático n. 38).

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MENDONÇA, H. V. de et. al. **Curva de crescimento de dois cultivares de cana de açúcar (Saccharum officinarum), sob aplicação de biofertilizante e ureia**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DO LEITE, 2015.

MELI, S. et al. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean condition. **The Science of the total environment**, Amsterdam, v. 285, n. 1-3, p. 69-77, Feb 2002.

MF Rural. Disponível em: <http://comprar-vender.mfrural.com.br/detalhe/geomembrana-para-esterqueiras-lagoas-e-biodigestores-100126.aspx>. Acesso em: 02/03/2016.

MORAES, L. M.; PAULA JÚNIOR, D. R.. Avaliação da Biodegradabilidade Anaeróbia de Resíduos da Bovinocultura e da Suinocultura. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p.445-454, mai/ago 2004.

PELLISSARI, C. **Tratamento de efluente proveniente da bovinocultura de leite empregando wetlands construídos de escoamento subsuperficial**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2013.

PEREIRA, M. S. do et. al. Decaimento de Bactérias do Grupo Coliformes em Solos com Cobertura Vegetal e Nu. **Revista engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 22, n.6. p. 575-582, nov./dez. 2014.

QUEIROZ, F. M. et. al. Características químicas do solo e absorção de nutrientes por gramíneas em rampas de tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Revista engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 2, p. 77-90, abr./jun. 2004.

RODRIGUES, L. S. et. al. Avaliação de desempenho de reator UASB no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p.94-100, 2010.

SANTOS, S. S. et. al. Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas características químicas do solo. **Revista engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 14 n. 1, p. 32-38, jan./mar. 2006.

SANTOS, J. L. dos. **Potencial de Aproveitamento da Água de Chuva na Produção de Leite - Um Estudo de Caso**. 2015. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

SILVA, E. M. da; ROSTON, D. M.. Tratamento de Efluentes de Sala de Ordenha de Bovinocultura: Lagoas de Estabilização Seguidas de Leito Cultivado. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p.67-73, jan/fev 2010.

SILVA, G. da. **Aproveitamento de Água de Chuva em um Prédio Industrial e numa Escola Pública – Estudo de Caso**. 2007. 103 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

SILVA, J. B. G.; MARTINEZ, M. A.; PIRES, C.S.; ANDRADE, I. P. de S.; SILVA, G. T. da. Avaliação da Condutividade Elétrica e pH da Solução do Solo em uma Área Fertirrigada com Água Residuária de Bovinocultura de Leite. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 250 - 263, 2012.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo, Brasil: Navegar Editora 2011.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva de telhados em áreas urbanas para fins não potáveis: Diretrizes básicas para um projeto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 6, 2007, Belo Horizonte. **Diretrizes básicas para um projeto**. Belo Horizonte. 2007. p. 1 - 24.

TORRES, A.; PEDROSA, J. F.; MOURA, J. P. de. Fundamentos de Implantação de Biodigestores em Propriedades Rurais. **Educação Ambiental em Ação**, jun e ago. 2012.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**, volume 1, 3ª edição, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

Winrock International Brasil, **Manual de treinamento em biodigestão** – 23 p., 2008.